

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier

recueils de recherches „acier”

RAPPORT D'ACTIVITÉ 1972



AVERTISSEMENT

Aux termes de l'article 55, alinéa 2c, du traité instituant la Communauté européenne du charbon et de l'acier, la Commission encourage la recherche intéressant le charbon et l'acier, notamment en accordant des aides financières. La présente brochure rend compte de l'exécution et des résultats de l'un de ces projets de recherche.

En conséquence du traité de fusion du 8 avril 1965, la Commission unique des Communautés européennes exerce les pouvoirs et les compétences dévolus à l'ex-Haute Autorité de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier (CECA).

Le présent document a été élaboré sous les auspices de la Commission des Communautés européennes.

Il est précisé que la Commission des Communautés européennes, ses contractants, ou toute personne agissant en leur nom :

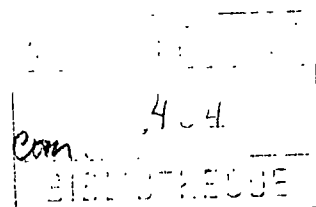
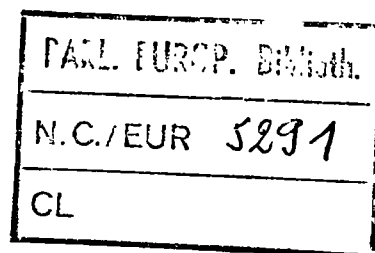
ne garantissent pas l'exactitude ou le caractère complet des informations contenues dans ce document, ni que l'utilisation d'une information, d'un équipement, d'une méthode ou d'un procédé quelconque décrits dans le présent document ne porte pas atteinte à des droits privés ;

n'assument aucune responsabilité pour les dommages qui pourraient résulter de l'utilisation d'informations, d'équipements, de méthodes ou procédés décrits dans le présent document.

recueils de recherches „acier”

RAPPORT D'ACTIVITÉ 1972

Numéro spécial



Edité par la Direction Générale
Information Scientifique et Technique et Gestion de l'Information

A V A N T - P R O P O S

Le Traité instituant la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier stipule à l'article 55 que la Commission des Communautés Européennes doit encourager la recherche technique et économique intéressant la production et le développement de la consommation de l'acier. Elle organise tous les contacts appropriés entre les organismes de recherche existants.

Les résultats de recherches financées sont mis à la disposition de l'ensemble des intéressés dans la Communauté.

Ces résultats sont publiés à la fin des travaux de recherches dans la série "Recueil de recherche Acier".

La Commission des Communautés Européennes a le plaisir de vous présenter un numéro spécial, destiné à diffuser, sous forme succincte, les résultats des travaux de recherche obtenus au cours d'une année calendaire. Ce numéro présente les résultats de l'année 1972. Il paraît avec un certain retard. La Commission des Communautés Européennes prie ses lecteurs de l'en excuser, mais la parution d'un nouveau type de publication pose toujours des difficultés de mise en oeuvre. Avec ce numéro spécial, elle espère apporter une nouvelle contribution à une information plus rapide tout en sauvegardant les droits de propriété industrielle.

TABLE DES MATIERES
INHALTSVERZEICHNIS
CONTENTS

- Minerais Erze Ores	7
- Fabrication de la fonte et réduction directe Roheisenerzeugung und Direktreduktion Manufacture of pig iron and direct reduction	17
- Aciéries Stahlwerke Steelworks	39
- Laminoirs Walzwerke Rolling mills	69
- Méthode de mesures et d'analyses Mess- und Analysemethoden Methods of measurements and analysis	91
- Propriétés d' emploi des aciers Verwendungseigenschaften der Stähle Service properties of steels	161
- Métallurgie physique Metallphysik Physical metallurgy	271
- Transformation Formgebung Transformation	317
- Utilisation Anwendung Utilization	323
- Divers Verschiedenes Miscellaneous	339

M I N E R A I S
E R Z E
O R E S

REF. A 4

CONVENTION No 6210-57/5/051

TITRE

Préparation des minerais par compactage à chaud

BENEFICIAIRE(S)

ARBED - Differdange

OBJECTIF

L'objet de la recherche est de fabriquer par simple compactage à chaud un produit aggloméré réductible à partir de fines de minerai pauvre ou riche. semblable au point de vue qualité à des pellets ou de l'aggloméré fritté. Le but est d'éviter l'emploi de combustible solide, utilisé dans les procédés d'agglomération par frittage, soit d'éviter la mouture très fine, telle qu'elle est nécessaire pour la pelletisation.

TRAVAUX EXECUTES

Les travaux concernant l'installation de compactage à chaud sous forme de briquettes (56 x 28 x 56 mm) de fines de minettes et de minerais riches ont débuté le 15.2.72.

Ils comportaient:

- l'installation d'une presse de compactage HUTT - KOMAREK;
- la liaison de cette presse avec la sortie d'un four rotatif existant et servant au chauffage des minerais à compacter;
- la liaison de la sortie de la presse, via crible, avec le système d'évacuation existant du four rotatif précité servant au chauffage. Ces travaux furent terminés dans le courant du mois de septembre 1972 et les essais débutèrent le 20 septembre.

Après la mise au point technique de l'installation, notamment de la presse de compactage, nos efforts furent orientés sur la recherche des conditions de fabrication optimales pour la qualité physique et chimique des briquettes.

Les recherches effectuées en 1972 portaient sur le compactage de fines de minette en examinant notamment l'influence des paramètres suivants:

- la température des fines au moment du compactage
- précompactage des fines par vis d'alimentation en amont de la presse

- pression de compactage
- vitesse de rotation des cylindres de compactage.

Nous avons effectivement réussi sans difficultés majeures à fabriquer par heure de marche environ 30 t de briquettes à partir de minerai pauvre avec une consommation thermique (fuel-oil + gaz) convenable, mais par des tests de dégradation nous avons dû constater:

- qu'au point de vue physique elles n'étaient pas assez résistantes. Des 4 rangées d'alvéoles sur la presse, les briquettes sorties des 2 rangs extérieurs étaient particulièrement friables;
- au point de vue chimique nous n'avons pas réussi à décarbonater complètement les fines de minerais pauvres chauffées jusqu'à 850°C environ.

Comportement au haut fourneau

Les briquettes furent enfournées pendant le mois de novembre (9 800 t) et de décembre (14 500 t) au haut fourneau V de Differdange et constituaient environ 30 % du lit de fusion.

Les résultats ont confirmé les défauts des briquettes constatés à la fabrication:

- Effritement partiel dans le haut fourneau avec production exagérée de poussière, d'où marche instable de l'appareil;
- Consommation thermique élevée par t de briquettes à cause de la décarbonation incomplète du minerai.

CONVENTION No 6210-10/1/101

TITEL

Développement d'une méthode d'abattage par havage du minerai de fer mi-dur d'origine colithique

BEGÜNSTIGTE(R)

Stahlwerke Peine Salzgitter A.G. - Peine

GEGENSTAND UND ZIEL

Entwicklung einer Teilschnittmaschine als Gewinnungsmaschine für Eisenerz von mittlerer Druckfestigkeit zwischen 300 kplcm² bis über 700 kplcm². Hinsichtlich des Personaleinsatzes als auch der Betriebskosten soll das Verfahren der mechanischen Gewinnung dem Schießbetrieb überlegen sein. In sicherheitlicher Hinsicht (Steinfall, Bewetterung, Gebirgsbeherrschung) sollen Fortschritte gegenüber dem konventionellen Abbauverfahren erzielt werden.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

5.1 In den Monaten Juli und August war eine dieselhydraulische Prototyp-Gewinnungsmaschine ART 200 der Österr. Alpine-Montangesellschaft zum Versuchseinsatz auf der Grube Bülten. Die Maschine verfügt über eine gesamt verwertbare installierte Leistung von 150 PS. Als Besonderheiten sind anzuführen: Radfahrwerk, keine Lade- und Fördereinrichtung, erstmalige Erprobung von Tangential-Rundschaftmeißeln an Teilschnittmaschinen in Europa.

Versuchszwecke:

- Die Tangential-Rundschaftmeißel sollen erprobt werden.
- Das Herstellen von 1,2 m tiefen Abschlügen ohne integrierte Lade- und Fördereinrichtung soll versucht werden. Bei Querschnitten von 5 x 6 m werden dabei ca. 100 t Erz gelöst. Der Abtransport erfolgt mittels Schaufelfahrladern.

Versuchsergebnis:

- Nach mehrfachen Änderungen der Meißelanordnung am Schrämkopf ist erkennbar daß der Tangential-Rundschaftmeißel hinsichtlich seines Verschleißverhaltens und der erzielten Leistung bis zu Gebirgsdruckfestigkeiten von über 800 kplcm² weit überlegen ist.

- Das mechanische Hereingewinnen von Erz in Form von $1,2 \div 1,5$ m tiefen Abschlügen ist ohne Leistungseinbuße gegenüber einer kontinuierlichen abfördernden Maschine möglich. Das Verfahren ist jedoch nur mäßig geeignet im Kammerbau in einfallenden Lagerstätten. Sicherlich ist es hervorragend geeignet bei gähigen Lagerstätten in room - & pillar Bauweise.
- Die gesamt verfügbare Leistung von 150 Diesel-PS reicht nicht aus, um das Leistungsziel, $40 \text{ m}^3/\text{Betriebsstunde}$ Erz zu lösen.

5.2 In den Monaten Juli bis September und November bis Dezember war eine elektro-mechanisch betriebene Prototyp-Gewinnungsmaschine WAV 170 erstmalig Untertage im Versuchseinsatz. Die Maschine verfügt über eine installierte Leistung von 245 kW, Raupenfahrwerk und eine integrierte Lade- und Fördereinrichtung. Der Originalschrämkopf ist mit Radial- und Tangential-Brustmeißeln bestückt.

5.2.1 Versuchszweck in den Monaten Juli bis September 1972:

- Erprobung der herkömmlichen Meißel
- Erprobung eines Abfördersystems bestehend aus der integrierten Lade- und Fördereinrichtung und eines nachgeschalteten Schaufelfahrladers, der das Erz hinter der Maschine von der Sohle aufnimmt.
- Kontrollierte Staubabfuhr

Versuchsergebnis:

- Die herkömmlichen Radial- und Tangential-Brustmeißel sind den Anforderungen bis Gebirgsdruckfestigkeiten von ca. 400 kplcm^2 gewachsen. Bei höheren Festigkeiten steigt der Verschleiß in unerträgliche Höhe.
- Das Abfördersystem ist der hohen Gewinnungsleistung von bis zu $40 \text{ m}^3/\text{Betriebsstunde}$ voll gewachsen und eignet sich besonders gut für den Kammerbau in schwebender Bauweise.
- Bei einer abgesaugten Wettermenge von ca. $600 \text{ m}^3/\text{min}$ kann der anfallende Staub kontrolliert abgefördert werden.
- Allgemein bedarf die Maschine mit Ausnahme des Schrämantriebes eines völligen Umbaus, um den Anforderungen des Untertagebetriebes gerecht zu werden.

5.2.2 Versuchszweck in den Monaten November/Dezember 1972:

- Erprobung eines neu konstruierten Rundschaftmeißelkopfes
- Erprobung verbesserter Förderer
- Festlegung der Umbaukriterien

Versuchsergebnis:

- Der Rundschaft-Tangential-Meißel bewährt sich bestens. Bei 400 kplcm^2 Gebirgsdruckfestigkeit ist eine Erhöhung der Löseleistung um 25 % gegenüber herkömmlichen Meißeln festzustellen.

Bei Festigkeiten bis über 800 kplcm^2 sind noch Löseleistungen bis $39 \text{ m}^3/\text{Betriebsstunde}$ ermittelt worden.

- Der Förderer konnte verbessert werden.
- Die erforderlichen Umbaumaßnahmen wurden festgelegt.

5.3 Im November 1972 war auf der Grube Bülten eine Gewinnungsmaschine AM 50 der ÖAM im Versuchseinsatz. Die Maschine war mit Rundschaft-Tangentialmeißeln bestückt. Das Gerät verfügt über eine installierte Leistung von 155 kW, einen elektromechanischen Schrämantrieb und eine integrierte Lade- und Fördereinrichtung. Die Dimensionen und das Dienstgewicht betragen die Hälfte der unter 5.1 und 5.2 genannten Maschinen.

Versuchszweck:

- Erprobung des Rundschaft-Tangentialmeißels
- Erprobung der Leistungsfähigkeit der leichten (24 t) Maschine.

Versuchsergebnis:

- Es wurden weitere Erkenntnisse über die Meißelanordnung gefunden. Allgemein hat sich der Rundschaftmeißel hervorragend bewährt.
- Der Einsatz erfolgte in Gebirge mit ca. 500 kp Druckfestigkeit. Dabei wurde eine mittlere Löseleistung von $30 \text{ m}^3/\text{Betriebsstunde}$ erzielt.

CONVENTION No 6210-11/1/101

TITEL

Mise au point d'une nouvelle technologie d'exploitation dans des conditions géologiques et minières difficiles

BEGÜNSTIGTE(R)

Salzgitter Erzbergbau A.G. Salzgitter

GEGENSTAND UND ZIEL

Für Lagerstätten mit einem Einfallen von 18 - 30 °, Mächtigkeiten von 10 - 18 m, Teufen von 800 - 1200 m und geringer Standfestigkeit des Gebirges unter Abbaudruckeinwirkungen ist eine leistungsfähige Abbautechnologie zu entwickeln, die den Einsatz von selbstfahrenden, gummibereiteten Großmaschinen erlaubt. Die dazu notwendigen relativ großen Grubenräume setzen eine Beherrschung des Gebirges voraus, was eine Verbesserung der Ausbautechnik erfordert. Die besonderen Einsatzbedingungen und Lagerstättenverhältnisse verlangen maschinentechnische Weiterentwicklungen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Es sind erste Abbauversuche durchgeführt worden. Der querschlägige und diagonale Ansatz der Abbauräume aus den Strecken bereitet verfahrenstechnische, gebirgsmechanische und sicherheitliche Schwierigkeiten. Der streichende Kammerbau im Sekundärverfahren erwies sich als unfallträchtig und leistungsschwach. Der Weitungsbau ist unter den Lagerstättenverhältnissen dem Kammerbau höchstwahrscheinlich überlegen.

Zur Anpassung der Haltbarkeit des Ankerausbaus an die größeren Grubenräume wurden 4 sich verstärkende Ausbaustufen zur Erprobung vorgegeben. Neu ist für die Grube Konrad die Anwendung von in Beton gebetteten Rippentorstählen in tiefen Ankerbohrlöchern. Der Ausbau scheint sich zu bewähren. Bohrlochdurchmesser für die Spreizhülsenanker wurden ohne Verschlechterung der Tragfähigkeit auf 34 - 36 mm reduziert und die Bohrschneiden für das Anker- und Sprenglochbohren vereinheitlicht. Beobachtungen des Ausbauverhaltens und Konvergenzmessungen lassen wegen der Kürze des Zeitraums noch keine definitiven Aussagen und Folgerungen zu.

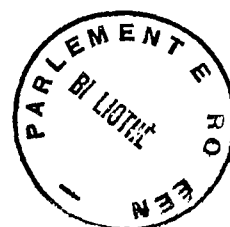
Es gelang, die in 1971 mit dem Einsetzen der gleislosen Gewinnungstechnologie niedriger gewordene Unfallhäufigkeit weiter zu senken.

Der eingesetzte Beraubewagen scheint die Erwartungen hinsichtlich Unfallverhinderung, verfahrenstechnischer Eignung und technischer Konzeption zu erfüllen.

Aus überwiegend sicherheitlichen Erwägungen wurde trotz der im Eisenerzbergbau gegebenen Schwierigkeiten eine Funkanlage installiert. Der Funkverkehr steht und fällt mit dem Funktionieren eines einfachen Wellenleiters.

An den eingesetzten Maschinen wurden Änderungen und Verbesserungen zur Erhöhung der Sicherheit und der Produktivität vorgenommen. Für spezielle Einsätze der Bohrwagen wurden ein Drehtisch zwischen Lafette und Ausleger eingeführt.

FABRICATION DE LA FONTE ET REDUCTION DIRECTE
ROHEISENERZEUGUNG UND DIREKTREDUKTION
MANUFACTURE OF PIG IRON AND DIRECT REDUCTION



CONVENTION N° 6210-34/2/022

TITRE

Structure des agglomérés de haut fourneau

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

OBJECTIF

Acquérir une meilleure connaissance de la structure des agglomérés, établir des relations entre cette structure et les propriétés des agglomérés et trouver les moyens d'obtenir les structures les plus appropriées pour répondre aux exigences du haut fourneau.

Comblir une lacune dans la technique actuelle de contrôle du procédé d'agglomération en fournissant à l'opérateur des moyens d'investigations rapides pour juger à temps de l'opportunité d'une modification des consignes de réglage.

TRAVAUX EXECUTES

Rappelons que nous avons mis au point des essais "en creuset" et des essais sur "pastilles" afin d'étudier les différentes étapes du mécanisme de frittage sur la bande d'agglomération.

A. Essais en creuset

L'étude de la réactivité des oxydes de fer dans un laitier primaire est effectuée par trempage de plaquettes d'oxydes purs ou de minerais dans un creuset contenant un laitier déterminé; la durée de trempage, la température du laitier ainsi que sa composition étant des variables.

A fin décembre 1972, nous avons effectué 360 essais en creuset. Après trempage, les plaquettes ont été examinées à la micro-sonde et l'on peut tirer les conclusions suivantes :

Au stade actuel (dans le cas d'une hématite synthétique de départ) :

- l'hématite à coeur est restée invariante lors de la réaction;

- les concentrations en Fe_2O_3 et en SiO_2 de la gangue de l'hématite à coeur sont plus élevées que les concentrations en Fe_2O_3 et en SiO_2 du laitier d'immersion alors que les concentrations en CaO , Al_2O_3 et MgO de la gangue dans l'hématite à coeur sont plus faibles que ces mêmes concentrations du laitier d'immersion.

Les concentrations en éléments calcium et aluminium de l'hématite près du laitier sont légèrement plus élevées que dans l'hématite à coeur.

La magnétite de réaction peut accepter jusqu'à :

- 3,7 % d'éléments calcium
- 0,2 % d'éléments silicium
- 0,9 % d'éléments aluminium
- 3,2 % d'éléments magnésium
- 0,8 % d'éléments sodium.

Pour des temps d'immersion longs, la magnétite de réaction devient riche en éléments magnésium, aluminium et calcium.

Le laitier contre la zone de réaction est plus riche en Fe_2O_3 que le laitier d'immersion, mais plus pauvre en Al_2O_3 et en MgO par rapport à ce même laitier.

Les aiguilles qui apparaissent dans le laitier - très fines cristallisations - sont principalement de la magnétite contenant jusqu'à 6,6 % d'élément calcium, 3,3 % d'élément silicium, 0,9 % d'élément aluminium, 2,7 % d'élément magnésium et 0,2 % d'élément sodium.

Notons également que nous avons fait des observations intéressantes sur les ferrites et la gangue dans la magnétite, les ferrites dans le laitier, le laitier entre ferrites, etc.

B. Essais sur pastilles

Nous avons mis au point un test consistant à fritter à une température bien déterminée plusieurs pastilles du mélange d'agglomération. Après cuisson, la résistance au choc est mesurée par la quantité de fines produites, par la percussion d'une masse de 1 kg tombant d'une hauteur de 50 cm. Ce test permet, en particulier, l'étude de l'"autofrittage" des minerais purs et la résistance mécanique des laitiers primaires. Les résultats fournis par ce test sont en bonne concordance avec certaines observations effectuées à la cuve d'agglomération.

Nous avons effectué des essais d'agglomération en cuve en vue de corrélérer les résultats des essais sur pastilles aux caractéristiques de l'aggloméré fabriqué sous différentes conditions.

CONVENTION No 6210-27/1/011

No 6210-27/1/012

TITEL

Mise au point industrielle d'un procédé de réduction directe du minerai de fer (PUROFER) en utilisant comme source d'énergie primaire un gaz riche (gaz de cokerie ou gaz naturel)

BEGÜNSTIGTE(R)

Thyssen Niederrhein AG - Oberhausen für No. 6210-27/1/011

Thyssen PUROFER GmbH - Düsseldorf für No. 6210-27/1/012

GEGENSTAND UND ZIEL

Fortführung der Entwicklung eines großtechnischen Verfahrens zur Direktreduktion von Eisenerzen unter Verwendung von Gas als Primärenergiequelle (No. 6210-27/1/011 am 30.6.1971 abgeschlossen) zur Erarbeitung der technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen des Verfahrens bei Rückführung des Gichtgases in die Gasumsetzung. Schaffung der für diese Verfahrensmodifikation erforderlichen baulichen Veränderungen an der Versuchsanlage (No. 6210-27/1/012).

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Im Anschluß an den grundsätzlichen Nachweis der technischen und wirtschaftlichen Durchführbarkeit des PUROFER-Verfahrens bis zum 30.6.1971 wurde nach Abschluß der für die Gasrückführung erforderlichen baulichen Änderungen die Versuchsanlage mit Gasrückführung betrieben. Bis zum 31.12.1972 wurden verschiedene Erzsorten in einer Gesamtmenge von etwa 60.000 t zu Eisenschwamm reduziert.

Durch die Gichtgasrückführung und eine verbesserte Temperaturführung konnte der spezifische Erdgasverbrauch von 4,7 Gcal/t Fe ohne Rückführung auf 3,8 Gcal/t Fe bei noch nicht optimal eingestellter Versuchsanlage gesenkt werden.

Nach Beseitigung apparativer Schwachstellen entspricht die spezifische Leistungsfähigkeit der Versuchsanlage jetzt den Anforderungen von Betriebsanlagen.

Erste Versuche mit Stückerzen zeigten sehr gute Ergebnisse.

Die Projektierung von 1.000 tato Betriebsanlagen ist abgeschlossen.

CONVENTION N° 6210-76

TITRE

Préréduction des minerais de fer en fluidisation

BENEFICIAIRE(S)

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française
St. Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Cette recherche a pour objet d'étudier sur des réacteurs de fluidisation de petite taille les mécanismes de la réduction des minerais de fer en fluidisation et de mettre en évidence l'influence des principaux paramètres physico-chimiques : température, pression, composition et consommation spécifique du gaz réducteur sur la cinétique de la réduction.

TRAVAUX EXECUTES

Les recherches menées à l'IRSID, entre le 1er avril et le 31 décembre 1972, dans le cadre de l'étude des mécanismes de la préréduction en fluidisation des minerais de fer, ont porté sur la réduction par l'hydrogène, dans un réacteur à lit fluidisé continu de laboratoire fonctionnant sous la pression atmosphérique, du minerai de NIMBA en deux étapes : hématite-wüstite puis wüstite-fer.

Les paramètres considérés sont : la consommation spécifique de gaz réducteur, le temps de séjour des solides dans le réacteur, la température du lit et la qualité de fluidisation. Ils ont été étudiés dans les intervalles de variation correspondant aux conditions industrielles.

Le degré de réduction du produit préréduit obtenu dépend fortement de la consommation spécifique dans l'étape wüstite-fer; pour un temps de séjour de 3 heures, à 620°C, il atteint respectivement 70 et 83 % pour des consommations de 2000 et 4000 Nm³ d'hydrogène par tonne de fer.

Le temps de séjour n'exerce plus qu'une influence négligeable au-dessus de 2 heures et demie dans cette étape.

Pour des temps de séjour voisins de 2 heures et demie, la température critique, imposée par le frittage des particules, varie dans

l'intervalle 750-800°C en fonction de la consommation spécifique de gaz réducteur, la température la plus élevée correspondant à la consommation la plus faible. Les produits réduits en dessous de 600°C sont pyrophoriques.

Les degrés de réduction les meilleurs, qui ont pu être finalement obtenus, sont de 84 % (à 790°C et 2000 Nm³ d'hydrogène par tonne de fer) et de 91 % (à 740°C et 4000 Nm³ d'hydrogène par tonne de fer).

La loi cinétique de la réduction en fluidisation a été étudiée en soumettant le produit préréduit à une série de séparations magnétiques à champ variable. Elle est caractérisée par un temps de germination du fer à partir de la wüstite (qui est respectivement de 4 et de 20 minutes quand la consommation spécifique est de 4000 et de 2000 Nm³ par tonne de fer) et par une quasi-asymptote voisine de 85 % de réduction dépendant peu de la consommation spécifique de gaz réducteur.

CONVENTION N° 6210-30/1/071

TITRE

Automatisation et optimisation complète du processus de fabrication de la fonte au haut fourneau
- Recherches expérimentales sur les effets de changements brusques et importants de certains facteurs sur la marche du haut fourneau, la composition et la température de la fonte, du laitier et du gaz du gueulard

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Untersuchung der Möglichkeiten der Konstantregelung der Roheisenzusammensetzung durch automatische Steuerung des Hochofenprozesses.

TRAVAUX EXECUTES

Die weitgehend abgeschlossenen Hauptversuch wurden im Berichtszeitraum durch Schüttversuche an einem realen Ofenkopf zur Frage des Einflusses der Beschickungsverteilung auf die Gleichmässigkeit der Durchgasung des Hochofenschachtes ergänzt. In drei umfangreichen Versuchsreihen wurde besonders der Einfluss der Schlagpanzerstellung und der Gichtenfolge untersucht. Zur Zeit werden die zahlreichen Versuchsergebnisse ausgewertet.

REF. B 5.1

CONVENTION N° 6210-30/2/072

TITRE

Automatisation et optimisation complète du processus de fabrication de la fonte au haut fourneau

- Régulation préalable de l'enfournement
- Régulation du travail de cuves par modification de la distribution des charges
- Régulation des paramètres thermiques et chimiques
- Descente des charges et garnissages

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Rome

OBJECTIF

Recherche clôturée

TRAVAUX EXECUTES

Néant

CONVENTION N° 6210-30/3/073

TITRE

Automatisation et optimisation complète du processus de fabrication de la fonte au haut fourneau

- Détermination par des essais directs sur appareils industriels des variations des grandeurs caractéristiques de marche des haut fourneaux en agissant sur les principaux paramètres variables d'entrée

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Rome

OBJECTIF

Grâce à ses travaux de recherche dans le domaine du haut fourneau, menés tant au laboratoire que sur appareil industriel, l'IRSID a établi un schéma de fonctionnement maintenant classique. Ce schéma a été traduit sous la forme d'un modèle mathématique que l'IRSID a eu l'idée d'utiliser dès 1962 pour réaliser un réglage automatique de l'état thermique du haut fourneau à partir de l'analyse du gaz de gueulard. Le but final du réglage est d'obtenir une fonte de qualité la plus régulière possible.

TRAVAUX EXECUTES

Le problème de l'automatisation du haut fourneau a été abordé à l'IRSID bien avant que le financement par la CECA n'intervienne. L'ensemble de la recherche s'est déroulé de la manière suivante :

- 1) Mise au point d'un paramètre W_u calculé d'après le modèle de fonctionnement en régime permanent, et basé sur l'analyse du gaz de gueulard, susceptible de représenter l'état thermique du haut fourneau.
- 2) Vérification expérimentale de la validité de ce paramètre sur plusieurs hauts fourneaux.
- 3) Détermination expérimentale des temps de réponses du haut fourneau aux variables manipulables et comportement dynamique du haut fourneau vis-à-vis des fluctuations de l'enfournement.

- 4) Application à un haut fourneau en marche industrielle. Fonctionnement automatique en boucle fermée.

Le financement par la CECA est intervenu pour le 2e semestre 1967, au cours de la 3e phase des recherches. Dans un premier temps, une synthèse de tous les résultats précédemment obtenus a été effectuée. Ensuite les essais suivants ont été réalisés :

- détermination du temps de réponse à une action combinée sur le fuel et l'oxygène,
- vérification de la généralité des résultats de l'étude dynamique et en particulier pour les minerais riches,
- contrôle automatique d'un haut fourneau lorrain en marche industrielle.

PRINCIPALES CONCLUSIONS

L'étude théorique et expérimentale du comportement dynamique du haut fourneau a montré la très grande inertie de l'appareil, et seule l'humidité du vent a une action rapide permettant d'effectuer un réglage de coulée à coulée. La longueur des temps de réponse s'explique par la lenteur d'ajustement des caractéristiques de l'échangeur inférieur constitué par la réserve de coke; un modèle théorique simple permet d'en rendre compte. Ce modèle a été vérifié expérimentalement par des échelons combinés fuel-oxygène qui ont permis de réduire le temps de réponse du fuel-oil, sans toutefois atteindre une action suffisamment rapide pour être utilisée dans un réglage thermique à court terme.

Compte tenu de l'inertie du haut fourneau, la régulation de la qualité des produits entrants est essentielle et doit être effectuée au mieux. Toute technique visant à améliorer la régularité de l'enfournement, homogénéisation du mélange minéral par exemple, doit être recherchée. Pour corriger les dérèglements qui subsistent, nous préconisons la méthode de réglage suivante :

- utilisation de l'humidité du vent pour effectuer le réglage à court terme de coulée à coulée,
- utilisation du taux de fuel-oil injecté ou du rapport carbone/fer du gueulard comme moyen d'action à long terme.

Le haut fourneau 5 de l'usine de Rombas, alimenté à 100 % d'aggloméré lorrain, est conduit automatiquement par ordinateur grâce à cette méthode. Le paramètre Wu calculé automatiquement d'après l'analyse du gaz gueulard est utilisé comme repère de l'état thermique.

Dans le cas de hauts fourneaux alimentés en lit de fusion riche, le paramètre Wu est un moins bon repère de l'état thermique et le contrôle automatique est plus difficile. Dans ce cas, le haut fourneau peut être conduit manuellement avec les mêmes principes de réglage, les résultats donnés par l'ordinateur étant utilisés en guide opérateur.

Cette recherche sur le comportement dynamique du haut fourneau a également permis d'approfondir nos connaissances des mécanismes de fonctionnement. En particulier, le rôle important de l'échangeur inférieur constitué par la réserve de coke entre les tuyères et la zone de fusion a pu être précisé.

CONVENTION N° 6210-63/4/041

TITRE

Recherches dans le domaine des facteurs de la charge qui influencent la régularité et la productivité du haut-fourneau

BENEFICIARE(S)

Centro Sperimentale Metallurgico - Rome

OBJECTIF

Le ricerche effettuate negli ultimi anni nei paesi della CEE relative al controllo dell'altoforno con calcolatore hanno contribuito a dare una migliore conoscenza del processo ed hanno portato a marce sperimentali di regolazione della qualità della ghisa. L'obiettivo della presente ricerca è quello di ampliare il campo di indagine per arrivare ad un controllo dello altoforno con calcolatore che tenga conto di tutte le informazioni della carica. Tale controllo avrà come obiettivo, oltre che riduzione della variabilità della qualità della ghisa quello di individuare le condizioni operative per ottenere massime produzioni e minimi consumi.

TRAVAUX EXECUTES

I lavori eseguiti nel corso del 1972 hanno riguardato le prime due fasi del progetto di ricerca e cioè la messa a punto, tuttora in corso di un modello matematico operativo dell'altoforno che permetta la ottimizzazione del processo in termini di produzione e consumi nelle diverse condizioni operative, e la effettuazione della fase sperimentale preliminare presso gli altoforni del C.S. Italsider "O. Sinigaglia", di Genova Cornigliano.

Il primo aspetto è stato caratterizzato sia da una formulazione teorica delle equazioni fondamentali di bilancio e trasferimento di calore e di materia dell'altoforno, sia da una fase sperimentale di laboratorio per individuare gli schemi di cinetica delle reazioni.

La fase sperimentale preliminare presso lo stabilimento ha avuto lo scopo di studiare la variabilità dei materiali di carica dell'altoforno dal punto di vista chimico e granulometrico.

La conoscenza infatti delle corrette analisi chimiche e granulometriche dei materiali di carica è fondamentale per l'utilizzazione dei risultati delle prove previste dal piano del programma (fasi III del progetto di ricerca) e che riguardano variazioni della percentuale di carica preparata, del livello di vagliatura dei singoli componenti del letto di fusione, del coke base, del livello di caricamento, della portata del cento.

Tali indagini hanno fornito le indicazioni per la messa a punto di norme operative relative al campionamento per minimizzare l'errore di determinazione della composizione chimica e delle granulometrie dei materiali.

Fra gli altri lavori va segnalata l'installazione di una sonda per il prelievo del gas lungo un raggio di bocca dell'altoforno e di un gas cromatografo per effettuarne le analisi.

L'informazione sulla distribuzione del gas alla bocca sarà utilizzata in determinati periodi della fase sperimentale.

REF. B 5.3

CONVENTION No 6210-63/1/011

TITEL

Mécanisation du travail sur les plates-formes et dans les halls de coulée des installations de haut-fourneau

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

GEGENSTAND UND ZIEL

- a) Untersuchung verschiedener feuerfester Baustoffe in wechselbaren Rinnenelementen.
- b) Gesamtkonzept des Rinnensystems
- c) Maßnahmen zur schnelleren und leichteren Füllung und Säuberung der Stichlochstopfmaschine
- d) Untersuchung zur Be- und Entlüftung der Gießhalle

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

- a) Fortführung von Betriebsversuchen zur Klärung der Haupteinflußgrößen beim Verschleiß von sauren Stampfmassen in Hochofenrinnen

Die in diesem Versuchsabschnitt untersuchten Rinnenteilstücke sind mit einer Haube überdeckt worden. Dabei konnte der Raum unter der Haube beheizt werden. Durch die Überdeckung wurde in den untersuchten Fällen eine Steigerung der Standzeit um 50 % erreicht. Bei Beheizung verbesserte sich das Ergebnis nur geringfügig. Ein Zusatz eines organischen Härters zur Stampfmasse verbesserte die Standzeit der Masse erheblich. So konnte die Standzeit bei Härtezusätzen von 0,2 und 4 % von 16.000 t auf 21.000 t und schließlich auf 33.000 t Roheisendurchsatz gesteigert werden. Während der Betriebszeit wurden kontinuierlich Temperaturmessungen im Rinnenboden gemacht. Auf diese Weise konnte der Verschleißvorgang gut überwacht werden. Es zeigt sich dabei, daß eine Luftkühlung des Bodens der Rinne das Temperaturprofil über längere Zeit stabilisiert und sich somit günstig auf den Verschleiß auswirkt. Anhand von Kurven der mittleren spezifischen Verschleißschichtabnahme über der Zeit bzw. der Roheisenerzeugung sowie durch Fotoaufnahmen der ausgebrochenen Rinne wurde eine Hypothese des Verschleißvorgangs aufgestellt, die hauptsächlich die Modifikationsänderung des Quarzes für den Verschleiß verantwortlich macht.

b) Planung einer Versuchsanlage zur praxisnahen Prüfung von feuerfesten Baustoffen für Hochofenrinnensysteme

Die Betriebsversuche haben trotz einiger interessanter Ergebnisse die Schwierigkeiten gezeigt, systematische Versuche im Hochofenbetrieb durchzuführen. Es wurde aus diesem Grund eine Anlage konzipiert, die Roheisen im Kreislauf fördert. Bestandteile dieser Anlage sind eine elektromagnetische Förderrinne, die das Metall auf ein höheres Niveau fördert, ein Umlenkstück, eine Prüfstrecke zum Einbau der zu untersuchenden Teilstücke des Hochofenrinnensystems und ein Ofen zum Warmhalten des flüssig eingefüllten Roheisens.

Aufgestellt wird die Anlage neben einem Siemens-Martin-Werk unter einem 70 t Gießkran. An dieser Stelle sind die notwendigen Energieanschlußwerte, Platz- und Transportverhältnisse vorhanden. Zur Eichung der Fördermenge der elektromagnetischen Rinne wird gegenwärtig ein Meßverfahren erprobt, das kontinuierlich die Roheisenmenge angeben soll.

CONVENTION N° 6210-87/3/301

TITRE

L'emploi de fontes neuves dans les charges des cubilots ou des fours électriques en vue d'améliorer les propriétés essentielles de la fonte de moulage

BENEFICIAIRE(S)

Chambre Syndicale des Producteurs de Fontes Brutes - Paris

Wirtschaftsvereinigung Eisen- und Stahlindustrie - Essen

Aciéries Réunies de Burbach-Eich-Dudelange

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Il s'agit de montrer aux fondeurs les avantages métallurgiques apportés par les fontes neuves et de les présenter de manière aussi démonstrative que possible. En particulier une amélioration d'usinabilité ou une réduction de la dispersion des autres caractéristiques d'usage pourrait fournir des arguments auxquels les fondeurs sont, sous la pression de leur clientèle, particulièrement sensibles actuellement.

TRAVAUX EXECUTES

Avec l'aide de 19 entreprises de fonderie on a coulé 270 éprouvettes de fonte grise en utilisant comme moyens de fusion des fours électriques ou des cubilots.

Deux analyses de régression multiple ont permis d'obtenir les relations suivantes entre la résistance à la traction d'une part, les teneurs en % et la dureté Brinell d'autre part :

- "CUBILOT" seul

$$R_t = 42.78 - 9.71 C - 2.44 Si + 34.3 S - 8.76 P + 0.083 HB$$

- "FOUR ELECTRIQUE" seul

$$R_t = 45.23 - 9.54 C - 0.98 Si - 16.46 S - 3.58 P + 0.065 HB$$

La perte de précision est minime lorsque l'on ne considère pas les influences du silicium et du phosphore. Il apparaît que les éléments graphitisants classiques (carbone, silicium, phosphore) interviennent avec le même signe et des coefficients proches dans les deux cas. Par contre, l'influence du soufre dépend du moyen de fusion. Une expérience directe consistant à resulfurer une fonte de 0.03 % à 0.10 % a permis d'obtenir une élévation significative de la résistance à la traction de 0.9 daN/mm².

Les fontes provenant du cubilot ont une dureté Brinell plus élevée que celle des fontes de fours électriques pour une résistance à la traction donnée ne dépassant pas 27 daN/mm². Cette situation s'inverse pour les résistances plus élevées. On y voit l'influence de la composition du lit de fusion au cubilot, les fontes banales étant élaborées à partir de hauts pourcentages de vieilles fontes de qualité irrégulière, alors que les fontes résistantes nécessitent souvent l'utilisation simultanée d'acier et de fonte neuve.

Les essais d'usinabilité selon la méthode rapide de tournage plan MATHON et Régie Nationale des Usines RENAULT ont permis de distinguer significativement les fontes de cubilot et les fontes électriques pour trois classes de résistance à la traction.

L'effet des fontes neuves important au cubilot pourrait ne pas être négligeable au four électrique en raison d'avantages tels qu'une meilleure usinabilité. C'est un des points qui sera examiné dans les mois à venir.

Ref. B 6.2

CONVENTION No 6210-87/1/101

TITEL

L'emploi de fontes neuves dans les charges des cubilots ou des fours électriques en vue d'améliorer les propriétés essentielles de la fonte de moulage.

BEGÜNSTIGTE(R)

- Chambre Syndicale des Producteurs de Fontes Brutes - Paris
- Wirtschaftsvereinigung Eisen- und Stahlind., Gruppe Roheisen, - Essen
- Aciéries Réunies de Burbach-Eich-Dudelange
- Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Entwicklung und Erprobung von verfahrenstechnischen Möglichkeiten zur Vergleichmäßigung des Schmelzergebnisses von Kupolöfen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Zur Zeit laufen Planungen zur optimalen Kombination der in der ersten deutsch-französischen Gemeinschaftsarbeit (Forschungsvorhaben Konvention 6210/36)

" Untersuchung der die Streuung in der chemischen Zusammensetzung flüssigen Gußeisens bestimmenden Einflüsse beim Kupolofenschmelzen unter besonderer Berücksichtigung der gemeinsamen Auswirkungen von Gattierung und Schmelzführung "

ermittelten Einflußgrößen auf das Schmelzergebnis im Kupolofen. Als maßgebliche Einflußgrößen hatten sich die Heterogenität der Gattierung, die Arbeitsweise des Kupolofens und die Mischwirkung von Sammlern herausgestellt. Zum Beispiel ist daran gedacht, eine Schmelzanlage zu untersuchen, bei der die Windmenge aus Betriebsgründen in kurzen Zeitabständen stark variiert werden muß, bei der weiterhin eine heterogene Gattierung gefahren und trotzdem Wert auf möglichst große Gleichmäßigkeit der Analyse gelegt wird. Dieses Ziel soll erreicht werden durch intensive Durchmischung des Eisens im Vorherd mittels eines Rührgerätes.

Ein weiterer Teil der Planung ist gerichtet auf die Entwicklung unempfindlicher Prozesse. Hier ist an einen oder mehrere mit Sekundärluft betriebene Kupolöfen gedacht, die zusätzlich mit einer Regelstrecke zur Sauerstoffzuführung versehen sind.

Es wird zur Zeit versucht, für das sich hieraus ergebende Programm geeignete Schmelzanlagen zu ermitteln, in denen die entsprechenden Untersuchungen ausgeführt werden können.

CONVENTION No 6210-87/6/601

TITRE

L'emploi de fontes neuves dans les charges des cubilots ou des fours électriques en vue d'améliorer les propriétés essentielles de la fonte de moulage

BENEFICIAIRE(S)

- Chambre Syndicale des Procuteurs de Fontes Brutes - Paris
- Wirtschaftsvereinigung Eisen- und Stahlindustrie - Essen
- Aciéries Réunies de Burbach-Eich-Dudelange
- Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

- a) Optimisation de la marche des cubilots par l'introduction d'air secondaire.
- b) Analyse de la dureté des coins en fonction de la proportion de fonte fraîche dans l'enfournement.

TRAVAUX EXECUTES

néant

CONVENTION No 6210-66/2/021

TITRE

Injection de gaz réformés chauds dans le haut-fourneau

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
S.A. Cockerill - Seraing

OBJECTIF

Malgré les résultats très positifs obtenus en 1970 à l'AIRBO, plusieurs questions restaient en suspens et ne pouvaient trouver une réponse définitive que par des essais réalisés sur échelle industrielle, notamment :

- la profondeur de pénétration du gaz réformé dans la cuve,
- la température idéale d'injection,
- l'influence de l'injection sur la marche physique du haut fourneau,
- les problèmes technologiques que pouvait poser le procédé,
- l'influence de l'injection sur la productivité du haut fourneau.

TRAVAUX EXECUTES

Nous avons réalisé 12 périodes d'essais :

1. Période de référence I : 606 kg coke/tf.
2. Premier essai en gaz réformé : 159 m³N de GR/tf à 780°C, 549 kg coke/tf, soit un taux de remplacement de 0,35 kg coke/m³N de GR. Une fissure dans les conduites de liaison entre réchauffeur et surchauffeur a provoqué l'arrêt momentané de l'injection de gaz.
3. Essai d'injection de fuel-oil : 100 kg fuel-oil/tf, 498 kg coke/tf, soit un taux de remplacement de 1,07 kg coke/kg fuel-oil.
4. Reprise des essais d'injection de gaz : 314 m³N GR/tf à 790°C, 490 kg coke/tf soit un taux de remplacement de 0,35 kg coke/m³N de GR.
5. Période de référence II : 605 kg coke/tf.

6. Essai d'injection de gaz au maximum du débit disponible : 409 m³N de GR/tf à 810°C, 514 kg coke/tf, soit un taux de remplacement de 0,22 kg coke/m³N de GR.
7. Essais d'injection de gaz réformé et de fuel-oil : 428 m³N de GR/tf à 840°C; 78 kg fuel-oil/tf, 436 kg coke/tf, soit des taux de remplacement de 0,22 kg coke/m³N de GR et 1,0 kg coke/kg fuel-oil. Comparé à l'essai précédent, on trouve un taux de remplacement pour le fuel-oil de 1,01 kg coke/kg fuel-oil.
8. Essai d'injection de fuel-oil : 75 kg fuel-oil/tf; 543 kg coke/tf. Comparé à l'essai précédent, on trouve un taux de remplacement pour le gaz de 0,24 kg coke/m³N de GR.
9. Période de référence III : 612 kg coke/tf.
10. Essai d'injection de gaz à basse température au débit maximum. 393 m³N de GR/tf à 720°C, 518 kg de coke/tf, soit un taux de remplacement de 0,26 kg coke/m³N de GR.
11. Essai d'injection de gaz à haute température au maximum de débit. 450 m³N de GR/tf à 1.000°C, 508 kg coke/tf, soit un taux de remplacement de 0,23 kg coke/m³N de GR.
12. Période de référence V : 625 kg coke/tf.

CONVENTION No 6210-83

TITEL

Amélioration du comportement des tuyères au haut fourneau

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

GEGENSTAND UND ZIEL

Ziel des Vorhabens ist zu untersuchen, wie durch keramische Schutzschichten die Haltbarkeit von Hochofenblasformen gesteigert und damit auch die Wirtschaftlichkeit des Hochofenverfahrens verbessert werden kann.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Zunächst werden in Laborversuchen aus einer Reihe von keramischen Schutzwerkstoffen (Al_2O_3 , ZrO_2 , ZrSiO_4) und zwei Grundwerkstoffen (Elektrolytkupfer und hitzebeständiger Stahl) geeignete Werkstoffkombinationen für Betriebsversuche ermittelt. Dazu werden in einer ersten Versuchsphase keramisch beschichtete Proben einem Dauertemperaturtest unterworfen. Die Proben sind einseitig geschlossene Rohre, die von innen mit Wasser gekühlt werden. Ihre Außenseite besteht aus einer Keramiksicht, die mit dem Plasmaverfahren aufgebracht wurde.

Die Temperaturdauerversuche werden in einem Gasflammpfen durchgeführt, der Temperaturen bis zu 1600°C im Dauerbetrieb gewährleistet.

Die ersten Rohre, mit Aluminiumoxid als Beschichtungswerkstoff werden in einem einige Tage dauernden Versuch bei 1600°C beansprucht. Für die Versuche wurde eine Apparatur entwickelt und getestet, mit der unbeaufsichtigt Dauerversuche durchgeführt werden können.

A C I E R I E S
S T A H L W E R K E
S T E E L W O R K S

CONVENTIONS N° 6210-23/3/031 et N° 6210-23/3/032

TITRE

Affinage continu de la fonte en acier

BENEFICIAIRE(S)

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française -
St. Germain-en-Laye

OBJECTIF

Mise au point d'un procédé continu d'affinage des fontes à l'oxygène pur. La recherche est poursuivie en vue de recueillir des résultats suffisants pour permettre la construction d'unités industrielles.

TRAVAUX EXECUTES

Au cours de l'exercice, l'installation expérimentale de Hagondange a été modifiée en vue de permettre le chargement de ferrailles non spécialement préparées. A cette fin, le réacteur a été agrandi, de façon à y ménager un volume suffisant pour recevoir les quantités de ferrailles à fondre. Le décanteur a été équipé d'une porte à grande ouverture et une chargeuse spéciale a été conçue en vue d'introduire par cette porte et de décharger dans le réacteur les charges de ferrailles.

Une campagne d'essais a été effectuée à la fin de l'année, avec chargement de la totalité des additions refroidissantes sous forme de ferrailles. Il a été possible ainsi d'introduire jusqu'à 320 kg de ferrailles par tonne de fonte traitée, sans constater de difficultés pour la fusion régulière de ces ferrailles, quel que soit leur type :

- ferrailles mélangées par charges de 400 kg introduites de façon discontinue (un chargement toutes les 3 à 4 mn);
- blooms de forte action (200 x 200 mm) par charges de 170 à 280 kg (fréquence moyenne d'introduction environ 1,5 à 2 mn);
- paquets comprimés 400 x 400 x 400 mm (150 à 200 kg) enfournés à la cadence maximale permise par l'installation.

Dans les limites étudiées, ni la dimension des ferrailles, ni le poids des charges ne paraissent avoir d'influence défavorable sur la régulation de la température de l'acier.

CONVENTION No. 6210-23/1/011

TITEL

Affinage continu de la fonte en acier

- Amélioration des réactions entre métal et laitier par utilisation de la métallurgie à contre-courant

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

GEGENSTAND UND ZIEL

Untersuchung des Stoffaustausches zwischen Metall und oxydierender Schlacke bei Gegenstromführung. Ermittlung des Konzentrationsprofils über die Reaktorlänge. Berechnung von Stoffübergangskoeffizienten.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Im Berichtszeitraum wurde der Ausbau der Versuchsanlage weiterbetrieben. Die Versuche zur Erprobung der elektromagnetischen Rinne als Förder- und Dosiermittel wurden erfolgreich abgeschlossen. Die Ergebnisse brachten wertvolle Hinweise auf die endgültige Gestaltung der Versuchsanlage. Insbesondere wurde der Zusammenhang zwischen der Fördermenge und den elektrischen Kenngrößen sowie den geometrischen Bedingungen gesichert. Darüber hinaus ließen sich Kenntnisse über die Strömungsverhältnisse auf der elektromagnetischen Gegenstromrinne gewinnen. Als vorteilhaft erwiesen sich Filmaufnahmen, da sie eine nachträgliche sehr genaue Ausmessung der Strömungsverhältnisse gestatteten.

CONVENTION N° 6210-58/5/051

TITRE

Mise au point d'un modèle de contrôle dynamique et statistique d'une aciérie à oxygène

BENEFICIAIRE(S)

ARBED - Luxembourg

OBJECTIF

Le but de la recherche consiste à optimiser la marche de l'aciérie et à régulariser la qualité de l'acier produit. A cet effet nous avons étudié par voie statistique la conduite des paramètres d'action (hauteur lance, débits oxygène total, oxygène secondaire et chaux en poudre) sur les résultats métallurgiques. Connaissant ces relations, il a été essayé de reproduire pour chaque coulée par l'intermédiaire de l'ordinateur, les conditions de soufflage les plus favorables.

TRAVAUX EXECUTES

L'automatisation d'un procédé n'est possible qu'à condition de disposer des instruments de mesure et de contrôle fiables et reproductibles. Dans le cas précis de l'automatisation du procédé de soufflage, le contrôle de l'opération est basé sur les paramètres suivants :

1. Niveau du bruit au bec du convertisseur
2. Vitesse de décarburation (dc/dt)
3. Vitesse d'oxydation du laitier (dOS/dt)

Au cours de l'année 1972 le développement du capteur de mesure du bruit au bec du convertisseur a été clôturé. Pendant la même période il a été procédé à la mise en service industrielle du spectromètre de masse ce qui a entraîné, en raison du caractère scientifique de l'appareil, des adaptations et mises au point laborieuses.

En préfiguration à la conduite du soufflage en boucle fermée, nous avons développé un système de marche en semi-automatique. A cet effet nous avons divisé le soufflage en cinq périodes principales :

- amorçage
- début formation de mousse
- formation de mousse
- soufflage avec scorie mousseuse c.à.d. soufflage normal
- soufflage à débit réduit en fin de phase

et trois sous-périodes ou incidents de soufflage :

- perte moussage
- perte allumage
- débordement.

L'opérateur, au vu des informations des capteurs de mesure (intensité sonore, dc/dt et dOS/dt) déclenche par le biais d'un panneau de 8 boutons poussoirs reliés à l'ordinateur et correspondant chacun à une période de soufflage, le déroulement de programmes spécifiques faisant varier les paramètres d'action (hauteur lance, débits oxygène total et secondaire ainsi que le débit de chaux en poudre) de façon optimale. Les résultats de cette marche en "semi-automatique" sont positifs comme le montre le tableau en annexe.

	Marche manuelle	Marche semi-automat.
Nombre de coulées	1879	452
% coulées avec décras- sage intermédiaire phase 1	38,4	18,1
Débordement en secondes	39,0	32,1
Fe 1	8,63	8,17
Durée de soufflage	21,0	20,12
Tap to tap	51,24	50,21
P ph 2	0,0196	0,0187
S ph 2	0,0195	0,0195
N	0,0043	0,0040
Rendement Fe	93,95	94,58

REF. C 6.1

CONVENTION N° 6210-56/3/031

TITRE

Aciérie électrique continue - Installation d'un four expérimental

BENEFICIAIRE(S)

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye

OBJECTIF

Mise au point d'un procédé de fusion électrique en continu de produits ferreux : Minerais préréduits et ferrailles.

TRAVAUX EXECUTES

Au cours de la première moitié de l'exercice, la construction de l'installation expérimentale s'est achevée, les circuits divers ont été branchés et les deux étages de l'appareil ont reçu leur garnissage réfractaire.

Au cours des mois de juin et juillet, l'installation a été testée sur le plan technologique, avec la réalisation de quatre journées d'essais; ceux-ci, destinés principalement à vérifier le comportement technologique de l'installation, ont cependant permis de commencer également l'étude métallurgique du procédé avec des fusions de ferrailles déchiquetées.

Après quelques transformations apparues nécessaires au cours de ces essais, une autre campagne a été effectuée à l'automne portant sur la fusion de ferrailles déchiquetées ou de produits préréduits (boulettes STELCO).

Ces essais ont montré la validité du procédé, avec une productivité horaire très élevée eu égard à la dimension des appareils. Les consommations de réfractaires apparaissent faibles, ainsi que la consommation d'électrodes (environ 5 kg/t). La consommation d'énergie, de l'ordre de 580 kW/h/t pour la fusion de ferrailles, a été satisfaisante eu égard aux dimensions de l'appareillage, mais il est apparu que des modifications du mode opératoire pouvaient contribuer à les déterminer encore.

CONVENTION N° 6210-56/2/021

TITRE

Optimisation de la fabrication d'acier de masse au four électrique

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

OBJECTIF

Le but de la recherche est la comparaison au four électrique de différentes techniques de désoxydation et notamment de l'action du vide.

L'étude a en vue des productivités élevées avec des élaborations à un seul laitier; elle se limite à des aciers durs pour fils et des aciers doux pour tôles.

TRAVAUX EXECUTES

A. Essais en usine

Seize coulées ont été élaborées en nuance fil dur. Les deux premières coulées n'ont pas été traitées sous vide et servent de référence pour juger de l'amélioration de qualité apportée par le traitement sous vide. Différents schémas de désoxydation ont été investigués : acier calmé par Si et Al ou par Si seul et calmage effectué avant, pendant ou après traitement sous vide.

Un premier lot composé de 6 lingots pour fils durs calmés au Si et à l'Al traités sous vide et de 2 lingots de même nuance non traités sous vide ont été laminés en billettes de 80 x 80 mm puis en fils de 5,5 mm de diamètre.

Le contrôle des billettes par ultra-sons n'a pas décelé de défaut. La propreté des produits a été examinée, tant sur billettes que sur fils. Sur billettes, un comptage volumétrique d'inclusions effectué par ultra-sons a montré que les additions faites avant dégazage sous vide donnent la meilleure propreté inclusionnaire. Sur fils, des examens sur 9 échantillons par lingot, réalisés au moyen d'un microscope quantitatif ont confirmé que la meilleure propreté inclusionnante est obtenue lorsque les additions de désoxydants sont effectués avant le traitement sous vide.

Un deuxième lot de 8 lingots a été également laminé; les examens de propreté sont actuellement en cours.

B. Essais en four de 450 kg

Nous avons complété nos essais par 6 nouvelles coulées. Les examens de propreté effectués à l'aide d'un microscope quantitatif sur des échantillons forgés ont montré que le mode de désoxydation conduisant à la meilleure propreté inclusionnaire était : FeAl puis FeSi + FeMn. Les désoxydants à base de Ca ont donné de mauvais résultats, tandis que tant l'alliage complexe FeMn SiAl que le FeB ont conduit à des résultats difficilement reproductibles.

Le résultat essentiel de ces essais est qu'ils ont prouvé la possibilité de produire industriellement au four électrique un acier dur pour fil de qualité.

REF. 6.3

CONVENTION No 6210-56/3/032

TITRE

Mise au point d'un mélangeur-nuanceur à acier

BENEFICIAIRE(S)

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye

OBJECTIF

Mise au point d'un mélangeur nuanceur à acier, basé sur la technologie des fours à induction à canal.

TRAVAUX EXECUTES

Les essais se sont poursuivis sur trois installations :

- Four de 50 t à HAGONDANGE, alimenté en acier Thomas,
- Four pilote sous vide de 6 t de la Station de MAIZIERES-lès-METZ,
- Four industriel de 18 t à DECAZEVILLE.

Des essais complémentaires ont permis d'apporter des précisions sur les points suivants :

- Vitesse d'homogénéisation des analyses dans le four.

Des essais par traçage ont permis de montrer que l'homogénéisation complète est obtenue dans le cas le plus défavorable au bout de 15 minutes. La géométrie et la capacité du four interviennent ainsi que la puissance spécifique du four au cours de l'essai, ce qui justifie le souci de mettre au point des inducteurs de forte puissance.

Une comparaison a été effectuée qui a permis de montrer la supériorité du four à canal sur le four à arcs sur le plan de la vitesse d'homogénéisation.

- Mode optimaux de désoxydation.

Des standards ont pu être établis pour la réalisation de nuances variées dans un four du type HAGONDANGE travaillant en duplex avec un convertisseur d'affinage.

- Essais de désoxydation par le carbone sous vide avec barbotage d'argon par brique poreuse.

Le four à canal sous vide a montré qu'il était parfaitement apte à réaliser des désoxydations poussées par la seule action du carbone sous l'effet du vide (teneur en oxygène résiduel inférieure à 0,002 % pour des teneurs en carbone supérieures à 0,1 %).

CONVENTION No. 6210-56/1/011

TITEL

Etablissement d'un modèle mathématique en vue de l'optimisation du processus dans les fours électriques

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

GEGENSTAND UND ZIEL

Entwicklung eines Führungsmodells für den Elektrostahlofen, wobei für einen geforderten Durchsatz oder für geforderte Einschmelz- und Feinungszeiten eine optimale Energieausnutzung erreicht werden soll. Durch ergänzende Betriebsuntersuchungen an Lichtbogenöfen verschiedener Größe und mit verschiedenem Erzeugungsprogramm soll ein möglichst allgemeingültiges Führungsschema für diesen Prozeß erarbeitet werden. Das zu erstellende Führungsmodell soll mit Hilfe eines Prozeßrechners in der Lage sein, den Elektrostahlprozeß für Werke mit einem oder mehreren Öfen zu führen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Der Schwerpunkt der Arbeiten im Berichtszeitraum lag bei den Vorbereitungen zur Rechnerführung des Ofenprozesses. Hierzu gehören - insbesondere während der Einschmelzzeit - die Steuerung der elektrischen Energie, im Hinblick auf deren optimale Nutzung bei möglichst geringem Verschleiß an Mauerwerk, wobei die richtige Wahl der Spannungs- und Stromschalterstellungen im Vordergrund steht.

Als Teilprogramm soll das Prozeßrechnerprogramm auch eine Legierungszuschlagberechnung enthalten für das Führen von Schmelzen für mittel- und hochlegierte Stähle. Dieses Teilprogramm konnte bereits fertiggestellt, getestet und in zwei Hüttenwerken erprobt werden, da es so angelegt ist, daß hierzu keine direkte Meßwert-erfassung durch den Prozeßrechner erforderlich ist. Es konnte bereits nachgewiesen werden, daß durch die Anwendung dieser Legierungsmittelberechnung ein wirtschaftlicher Nutzen erreicht werden kann.

Die allgemeinen Vorarbeiten, zu denen auch verschiedene meß- und regelungstechnische Teilaufgaben gehörten, konnten etwa Mitte 1972 soweit abgeschlossen werden, daß ein auf den direkten Ein-

satz des Prozeßrechners mit dem bereits erarbeiteten zunächst verhältnismäßig einfachen Modell in einem bestimmten Hüttenwerk geplant werden kann. Der Gesamtsystementwurf für ein Elektrostahlwerk wurde fertiggestellt. Die gesamte Prozeßrechnerprogrammierung basiert auf einem "Betriebssystem". Durch dieses Hilfsprogramm wird die Prozeßprogrammierung stark vereinfacht. Allerdings wurde, um diese Vereinfachung der Programmierarbeit voll nutzen zu können, ein zusätzlicher Plattenspeicher für den Prozeßrechner erforderlich. Dieses Betriebssystem teilt den Kernspeicher in einen "Vordergrund"- und einen "Hintergrundbereich" auf. Während im Vordergrund Programme zur "Real-Time"-Steuerung des Prozesses ablaufen, können im Hintergrund statistische Untersuchungen durchgeführt oder neue Programme zusammengestellt, geändert und getestet werden, so daß eine laufende Verbesserung des Modells durch Austausch veralteter Programme möglich wird.

Es wurde außerdem eine spezielle Bedienungstastatur zusammengestellt, die einen flexiblen Datenaustausch zwischen Schmelzer und Rechner ermöglicht.

Ein Teil der erforderlichen Programmierungsarbeiten ist bereits durchgeführt. Hierbei handelt es sich im wesentlichen um Ein-/Ausgabeprogramme und solche Programme, die eine erleichterte Handhabung des verwendeten Betriebssystems ermöglichen.

Die notwendigen Installationsarbeiten im Stahlwerk im Hinblick auf die Meßwerterfassung sowie die Verstellung der Strom- und Spannungsstufen und die sonstigen Führungsbefehle vom Rechner an das Bedienungspersonal sind angelaufen. Von der Hütte wird ein klimatisierter Rechnungsraum zur Verfügung gestellt sowie eine durch ein Umformeraggregat gesicherte stabile Stromversorgung für den Rechner und die erforderlichen zusätzlichen Meßgeräte.

CONVENTION No 6210-50/1/011

TITEL

Coulée et solidification de l'acier

- Influence des facteurs chimiques et physiques sur la qualité des aciers effervescent;
- Formation d'inclusions (oxydes et sulfures) lors de la solidification. Influence du mode de désoxydation;
- Etude de la solidification des lingots d'acier;
- Loi de la solidification des gros lingots de forge et influence de la structure primaire et du coefficient de corroyage sur les propriétés de l'acier.

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherche Métallurgiques - Liège

S.A. Cockerill - Seraing

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

S.A. Creusot-Loire - Le Creusot

Centro Sperimentale Metallurgico - Rome

GEGENSTAND UND ZIEL

Untersuchung des Erstarrungsvorgangs sowie des Zusammenhangs zwischen Gasblasenbildung, Strömung und Seigerungerscheinungen in beruhigtem Stahl. Kinetik der Fällungsdesoxydation sowie der Bildung von oxydischen und sulfidischen Einschlüssen während der Erstarrung. Bestimmung der Primärstruktur und der Verteilung von oxydischen und sulfidischen Einschlüssen in Schmiedeblocken sowie ihr Einfluß auf die technologischen Eigenschaften bei unterschiedlichen Verformungsgraden und Gefügezuständen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Die Messungen der Temperaturverteilung und des Wärmeüberganges während der Erstarrung sowie die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Gasblasenbildung, Strömung und Seigerung bei unberuhigtem Stahl wurden im Berichtsjahr abgeschlossen. Es wurden wichtige Ergebnisse über die Wärmeströme in der Kokille und über den Wärmeübergangswiderstand zwischen Block und Kokille beim Erstarren von 1,4-t-Blöcken erhalten. Die Untersuchungen zeigten weiter, daß die Luftspaltbildung bei der Erstarrung eines Blockes über der Höhe des Blockes und dem Umfang unterschiedlich erfolgt. Über den Zusammenhang zwischen Gasblasenbildung, Strömung und Seigerung bei der Erstarrung von unberuhigtem Stahl wurden

theoretische Vorstellungen entwickelt, deren Anwendbarkeit auf die Beschreibung des Erstarrungsvorganges von unberuhigtem Stahl nachgewiesen wurde.

Zur Frage der Seigerungserscheinungen in beruhigtem Stahl wurden die Untersuchungen zur Kinetik der Bildung von FeS-Einschlüssen in Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, über den Einfluß der Mangangehalte und der Erstarrungsgeschwindigkeit auf die Zusammensetzung der interdendritischen Sulfideinschlüsse, über die Ausdehnung der heterogenen Schicht bei der Erstarrung von Eisen-Kohlenstoff-Schmelzen sowie über den Einfluß der Erstarrungsgeschwindigkeit des Temperaturgradienten und des Kohlenstoffgehaltes auf die Dendritengeometrie in Eisen-Kohlenstoff-Legierungen mit 1 % Mangan weitergeführt. Die aufgrund der früheren Experimente aufgestellten theoretischen Überlegungen wurden durch weitergehende praktische Untersuchungen überprüft und bestätigt.

Die Untersuchungen zur Desoxydation wurden durch Experimente über die Fällungsdesoxydation durch Aluminium sowie zur elektrochemischen Sauerstoffbestimmung in Eisenschmelzen mit stabilisiertem Zirkondioxid und dotiertem Thoriumdioxid als Feststoffelektrolyten abgeschlossen. Bei der Fällungsdesoxydation durch Aluminium wurde eine von Fall zu Fall sehr unterschiedliche Abscheidung der entstandenen Tonerde beobachtet. Bei den Laboratoriumsuntersuchungen zur elektrochemischen Sauerstoffbestimmung in Eisenschmelzen wurde gleichzeitig mit Meßsonden aus stabilisiertem Zirkondioxid und dotiertem Thoriumdioxid gemessen. Für gelöste Sauerstoffgehalte über 0,01 % O lieferten beide Sonden übereinstimmende Meßwerte. Unter 0,01 % O wurden mit der Thoriumdioxidzelle erheblich geringere Sauerstoffaktivitäten als mit der Zirkondioxidzelle gemessen. Dies traf besonders bei desoxydierten Schmelzen zu.

Die Untersuchungen über die Erstarrung von schweren Schmiedeblocken mußten im Berichtszeitraum aus organisatorischen Gründen unterbrochen werden. Die Untersuchungen werden im Jahre 1973 abgeschlossen.

CONVENTION N° 6210-50/2/021

TITRE

- Coulée et solidification de l'acier
- Etude de la germination des bulles de CO à l'interface solide-liquide
 - Etude de mécanisme de l'apport de l'O₂ extérieur à l'acier effervescent
 - Etude mathématique de la solidification de l'acier en lingotière

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
S.A. Cockerill - Seraing
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye
S.A. Creusot-Loire - Le Creusot
Centro Sperimentale Metallurgico - Rome

OBJECTIF

Acquérir de nouvelles connaissances fondamentales quant à la nature de l'effervescence (germination du gaz CO à l'interface solide-liquide et participation de l'oxygène atmosphérique dans l'oxydation du carbone, du fer et du manganèse de l'acier en lingotière) et à ses conséquences pratiques (ségrégation horizontale, ségrégation verticale).

TRAVAUX EXECUTES

Etude mathématique de la solidification de l'acier en lingotière

- a) Compléter la théorie de la ségrégation horizontale de l'acier effervescent et établir un modèle de la ségrégation verticale.
- b) Etudier la relation entre l'état thermique du coeur des lingots et la qualité interne des produits laminés (recherche des track-times et temps de pits optimum).
- a) Découpe de 2 lingots effervescents de 13 t
Ceci comprend :
 - Le prélèvement de multiples échantillons hors du coeur liquide des lingots durant la solidification de l'acier.
 - Le prélèvement d'échantillons hors des écumes surnageant l'acier afin de préciser les interactions entre l'acier effervescent et l'air atmosphérique.
 - Le découpage et l'échantillonnage des lingots solides.

Ceci a permis :

- De définir la loi de solidification horizontale de ces lingots.
- D'établir les courbes d'évolution des solutés (C, S, P, Mn, O) dans la liqueur mère au cours de l'effervescence.
- D'établir, pour ces divers éléments, les courbes de ségrégation horizontale depuis la peau jusqu'en axe du lingot et ceci à différents niveaux dans le lingot.
- D'établir les courbes de ségrégation verticale en axe des lingots.
- De déterminer l'évolution de la quantité et des dimensions des inclusions depuis la peau jusqu'en axe des lingots.

Exploitation des résultats expérimentaux

Grâce aux données précises relatives à la ségrégation horizontale, l'étude du mécanisme du rejet de soluté par un front de solidification rugueux en présence d'un fluide animé de mouvements tourbillonnaires a pu être menée à bien. Les données expérimentales nous conduisent à admettre que la couche de diffusion au contact du front de solidification, telle que définie par la théorie classique de la ségrégation de BURTON et al., est à considérer en fait comme composée de deux sous-couches. L'épaisseur de la première sous-couche, dans laquelle le transfert de matière se fait uniquement par diffusion, est conditionnée par les dimensions des dendrites du front de solidification et est donc inversement proportionnelle à la vitesse de solidification. L'épaisseur de la seconde sous-couche est régie par l'état tourbillonnaire de l'acier liquide devant le front et peut se déterminer à partir des équations classiques de transfert de masse entre un liquide en mouvement et une plaque rugueuse.

A partir de ces éléments, les coefficients de partage effectifs des solutés entre acier solide et liquide peuvent être calculés en fonction de la vitesse de solidification et du degré de turbulence rencontré dans le coeur encore liquide des lingots.

D'autre part, les bilans de matière relatifs au partage des solutés entre phase solide et phase liquide montrent clairement qu'il faut tenir compte, dès le début de la solidification, de la formation des cristaux d'acier relativement purs et qui restent en suspension dans l'acier liquide durant tout le temps de l'effervescence. C'est la sédimentation retardée de ces cristaux, après blocage des lingots qui conduit à la ségrégation verticale en axe, telle que nous la connaissons.

La ségrégation verticale des lingots effervescent

La ségrégation verticale des lingots effervescent devient surtout intéressante sous l'aspect de l'étude du pic de ségrégation observée dans la partie supérieure de l'axe des lingots.

Afin de préciser l'influence des dimensions des lingots, durée d'effervescence et autres facteurs sur l'importance du pic de ségrégation, nous avons effectué successivement :

- étude bibliographique,
- relevé des ségrégations dans 150 lingots de 4 à 30 t coulés dans les usines affiliées au C.R.M.,
- établissement d'un modèle mathématique de la ségrégation verticale basé sur la formation et sédimentation de cristaux libres.

Il est apparu que aussi bien l'étude bibliographique que l'étude expérimentale sur 150 lingots ne permettent de dégager que des tendances assez qualitatives étant entendu que des facteurs non mesurables et parfois aussi des facteurs non mesurés introduisent une importante dispersion des résultats.

Le modèle mathématique cependant permet de chiffrer l'influence des divers facteurs sur l'importance du pic de ségrégation :

- influence des dimensions de la prise d'échantillon sur la ségrégation mesurée;
- augmentation de la ségrégation avec la durée de l'effervescence pour un même lingot;
- augmentation de la ségrégation avec l'épaisseur du lingot pour un rapport largeur/épaisseur donné;
- diminution de la ségrégation avec l'élargissement du lingot pour une épaisseur donnée.

Pratiquement, en se basant sur le modèle mathématique et compte tenu des dimensions du lingot et des teneurs en impuretés sur jet de coulée, il est possible de fixer des limites maximales du temps d'effervescence afin de ne pas dépasser une concentration donnée en impuretés dans l'axe du lingot.

b) Recherche des track-times et temps de pits optimum

Malgré tous les efforts qu'on peut faire pour limiter l'importance de la ségrégation des aciers effervescent, il est pratiquement impossible de l'éviter complètement. Dans les cas bénins, la ségrégation a comme conséquence l'obtention de demi-produits et produits ne répondant pas aux spécifications d'analyse; dans les cas plus graves, les zones enrichies et impuretés de toutes sortes possèdent des températures de solidification tellement basses que le lingot est laminé avec un coeur contenant des phases liquides, ce qui conduit à des défauts internes graves allant jusqu'à la décohésion du métal.

Il est donc de première importance de se rendre maître des températures rencontrées dans les zones ségrégées des lingots. Ces températures dépendent notamment des dimensions des lingots, du temps disponible pour le refroidissement depuis la coulée jusqu'à l'enfournement dans les pits (track-time), du temps de réchauffage dans les pits.

L'étude comporte deux grands chapitres :

- Exploitation statistique de plusieurs centaines de lingots au point de vue relation entre le track-time réalisé et la santé interne déterminée au moyen de sondages ultra-sonores. Ceci a permis d'établir que pour chaque type de lingot, il existe un track-time minimum à respecter si on veut éviter l'apparition de graves défauts internes sur demi-produits. Un certain temps de pits, lié au track-time est bien entendu nécessaire pour homogénéiser la température du lingot.
- Calcul, au moyen d'un modèle mathématique de la solidification et du refroidissement, des températures obtenues en axe du lingot pour divers track-time et temps de pits. Ceci montre que le respect d'un track-time minimum correspond en fait à ne pas dépasser une température maximum en axe du lingot à la sortie des fours pits. Cette température correspond bien au point de fusion de phases ségréguées localisées dans l'axe. Le temps de pits à réaliser en fonction du track-time correspond bien au temps minimum nécessaire à un degré d'homogénéité donné des lingots.

Etude de la germination des bulles de CO à l'interface solide-liquide

Moyennant les informations fournies par le découpage de 2 lingots effervescentiels il a été possible de déterminer la quantité de carbone transformé en monoxyde de carbone à chaque instant de la solidification des lingots et surtout de séparer le carbone réagissant au front même, de celui réagissant à l'interface de l'acier et des bulles de gaz remontant dans le lingot ou du carbone réagissant à l'interface acier/écumes ou acier/air. Il apparaît que la réaction au front ne représente que 10 % du total. La connaissance de la vitesse de réaction du carbone au front a permis de déterminer la vitesse spécifique de la réaction d'oxydation du carbone ($k = 5.10^{-3}$ cm/sec) pour les teneurs présentes en carbone, manganèse, oxygène. D'autre part, la relation entre la vitesse de formation du gaz CO et l'apparition des soufflures primaires a été quantifiée.

L'expérience ayant montré que la vitesse de réaction du carbone au front de solidification va en diminuant pour des teneurs en carbone croissantes supérieures à environ 0.100 %, une série d'essais a été réalisée dans le but de déterminer l'influence de la composition et de la température de l'acier sur la vitesse de germination du CO.

Afin d'éviter le découpage de nombreux lingots et de faciliter le balayage d'une gamme de compositions étendue, la méthode d'investigation suivante fut choisie :

introduction d'une plaquette froide en fonte dans un bain d'acier de composition et température donnée; étude de l'acier solidifié sur cette plaquette au point de vue nombre et dimension des porosités, traces du dégagement gazeux.

La méthode s'est montrée reproductible, deux échantillons d'un même bain d'acier donnant des résultats identiques. Néanmoins et malgré le grand nombre d'échantillons réalisés, des conclusions nettes quant à l'influence de la composition et de la température du bain n'ont pas su être déduites.

Etude du mécanisme de l'apport de l'O₂ extérieur à l'acier effervescent

Au moyen des bilans matières effectués sur les lingots découpés et grâce à la détermination de l'évolution de la composition et quantité des écumes de lingot, l'importance et l'évolution temporelle des interactions entre l'oxygène atmosphérique et le lingot effervescent ont pu être chiffrées.

La vitesse d'absorption d'oxygène est essentiellement variable au cours de l'effervescence et passe par un maximum de plus de 0.005 %/min. 90 % de la décarburation du lingot sont à attribuer à l'action de l'oxygène atmosphérique.

L'évolution des écumes de lingot, due en majeure partie à l'évolution des teneurs en FeO et MnO, montre une augmentation de 1 kg par tonne d'acier et minute. L'évolution de la quantité de MnO est due pour moitié à la remontée d'inclusions formées au front de solidification, l'autre moitié provenant d'une oxydation directe par l'air. L'évolution de la quantité de FeO des écumes est due pour 1/6 à la remontée d'inclusions et pour 5/6 à l'oxydation directe.

Le rapport FeO/MnO des écumes varie de la même façon que la décarburation. On en conclut à un parallélisme de l'oxydation du Fe, Mn et C.

L'accélération de la vitesse de formation des écumes et de la décarburation après un décrassage du lingot prouve que les écumes, loin d'oxyder le lingot, le protègent de l'air, l'oxydation ne pouvant se faire qu'à la surface dénudée de l'acier.

CONVENTION N° 6210-50/2/022

TITRE

- Coulée et solidification de l'acier
- Etude des macro-inclusions dans les lingots de forge

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
S.A. Cockerill - Seraing
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye
S.A. Creusot-Loire - Le Creusot
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

- Hypothèse sur l'origine des inclusions macrographiques et action sur les réfractaires;
- Etude de la solidification d'un gros lingot (98 t) en acier contenant du Ni;
- Etude de la morphologie et de la répartition des inclusions de soufre : liaison avec la structure de coulée.

TRAVAUX EXECUTES

1. Origine des inclusions macrographiques dans les gros lingots

Nous avons émis une hypothèse de travail sur l'origine de ces inclusions : les inclusions macrographiques trouvent leur origine dans la coalescence à l'état liquide de flux de fond de poche et d'inclusions endogènes sous l'effet de l'avancement du front de solidification.

Pour minimiser cet apport exogène, une partie de cette recherche a consisté à rendre plus difficilement fusible le flux de fond de poche en particulier par le recouvrement par plasma des réfractaires de poche. Cette étude a été réalisée sur poches industrielles et par étude de laboratoire. Les résultats pratiques ont été très limités surtout à cause de la faible épaisseur de la couche de protection. L'emploi de briques supports en réfractaire surcomprimé et d'un badigeon au zircon a donné les meilleurs résultats.

2. Découpage d'un lingot de 98 t et examen des hétérogénéités

L'étude macrographique d'un lingot en 30 N C D 15 a permis de montrer que la ségrégation majeure était beaucoup moins développée dans ce type d'acier que dans celui étudié dans notre première étude : les V axiaux n'existent pratiquement plus et sont remplacés par des décohésions du type retassures interdendritiques et le taux de ségrégation suivant l'axe du lingot ne dépasse jamais 7 % en négatif et 10 % en positif.

L'étude des inclusions, en raison de l'absence d'oxydes, s'est limitée à la phase sulfures.

3. Etude de la morphologie et de la répartition des inclusions de sulfures dans cet acier au Ni

En raison de la répartition et de l'aspect particulier de la répartition des sulfures, cette hétérogénéité a été approfondie. L'étude a été poussée, en particulier au stéréoscan, sur la liaison de ces sulfures avec le grain de coulée et le grain d'austénite.

Il nous apparaît que cette précipitation n'est pas liée au grain de coulée : il s'agit donc d'une phase de précipitation à l'état solide. Cet aspect en liaison avec l'homogénéité macrographique, suggère une action importante du Ni sur l'intervalle de solidification de ces aciers et peut être la nature de la phase de solidification.

CONVENTION N° 6210-50/3/032

TITRE

- Coulée et solidification de l'acier
- Etude des macro-inclusions dans les lingots de forge

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
S.A. Cockerill - Seraing
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye
S.A. Creusot-Loire - Le Creusot
Centro Sperimentale Metallurgico - Rome

OBJECTIF

- Obtention d'une meilleure connaissance des macro-inclusions, tant du point de vue analytique que du point de vue structural, pour permettre une définition des origines probables.
- Etude des hétérogénéités sur un très gros lingot en acier allié.

TRAVAUX EXECUTES

I. Macro-inclusions

En partant de la classification proposée d'après les analyses obtenues sur un cinquantaine de prélèvements, il a été tenté de définir les origines suivantes :

Classe I

La présence d'une forte proportion de Si O_2 , souvent accompagnée d'oxyde de fer et de manganèse, fait penser à un entraînement de résidus d'oxydation du métal.

Classe II

De fortes teneurs en $\text{Al}_2 \text{O}_3$, avec présence de produits alcalins, indiquent que ces inclusions proviennent de résidus de poudre exothermique entraînés depuis le haut du lingot.

Classe III

Ces inclusions qui contiennent beaucoup de Zr O_2 , servant en quelque sorte de traceur, trouvent vraisemblablement leur

origine dans des chutes de débris de réfractaires à base de zircon, de canalisation ou d'enduit de réparation, ayant ou non subi une transformation chimique suite à une corrosion par le laitier et/ou l'acier liquide.

Classe IV

Dans ces inclusions, la forte présence de CaO ne peut provenir que de résidus de laitier, brassés avec le métal puis entraînés au cours de la coulée.

De plus, la présence simultanée dans certaines de ces inclusions de CaO et de ZrO_2 est aussi la conséquence d'une corrosion et d'une érosion, suivie d'émulsion dans le métal liquide et entraînement de couches fluxées de réfractaires à base de zircon.

Classe V

Pour ces inclusions, dont les compositions peuvent parfois se rattacher à l'une ou (et) l'autre des classes précédentes, les fortes teneurs d'oxydes tels que MgO et Cr_2O_3 permettent de supposer que l'on se trouve en présence de résidus de dégradation de réfractaires en magnésie ou d'oxydation d'un élément de la composition de l'acier (acier du chrome).

II. Lingot de 98 tonnes en acier allié

Les travaux se sont poursuivis sur la planche axiale par la définition de la structure primaire après attaque macrographique.

Des examens effectués dans les zones de porosités axiales ont permis de déterminer la nature de certains précipités tapissant les parois de ces cavités.

III. Etude de l'influence des éléments de la composition sur la ségrégation du carbone

Les résultats des analyses chimiques obtenus sur le gros lingot en acier allié investigué ayant fait apparaître une ségrégation totale du carbone beaucoup plus faible que celle mise en évidence sur les lingots en acier au carbone, une étude statistique, en vue de définir les influences éventuelles des éléments de la composition sur ce phénomène, a été entreprise sur 152 lingots.

Les différents calculs effectués ont permis l'établissement d'une équation donnant l'ordre de grandeur du taux de ségrégation que l'on doit attendre d'un lingot de dimensions et d'analyse données.

Ce taux est une fonction croissante du rapport H/D et des teneurs en soufre, en phosphore et en silicium et une fonction décroissante des teneurs en molybdène et vanadium.

CONVENTION N° 6210-72/3/031

TITRE

Application du transfert d'éléments par voie électrochimique à l'élaboration de l'acier

BENEFICIAIRE(S)

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye

OBJECTIF

L'objectif général de la recherche est la mise au point d'un four électrique à courant continu, pour l'élaboration de l'acier. La partie de cette étude qui fait l'objet d'une demande de subvention à la CECA comporte essentiellement une recherche de laboratoire, pour préciser ce qu'il est possible d'attendre des transferts électrochimiques, en particulier dans le domaine de la désoxydation et de la désulfuration de l'acier liquide.

TRAVAUX EXECUTES

Les premiers essais de désoxydation du fer liquide par un processus électrochimique ont porté sur l'étude du transfert d'oxygène à travers une paroi de zircone stabilisée à la chaux servant d'électrolyte solide. Ces essais qui ont été effectués au laboratoire sur une échelle d'environ 1 kg de fer liquide ont montré que le rendement électrique moyen du transfert d'oxygène (rapport exprimé en % de la quantité d'oxygène réellement transférée sur la quantité qui aurait pu être transférée conformément à la loi de Faraday) est de l'ordre de 80 % lorsque la teneur en oxygène est supérieure à 0,010 % et ceci pour une densité de courant voisine de 0,4 A/cm². La zircone supporte sans dommage pendant plusieurs heures des densités de courant allant jusqu'à 0,4 A/cm²; pour des valeurs plus élevées, le rendement électrique de la réaction décroît très rapidement et il y a très vraisemblablement un début d'électrolyse de la zircone avec apparition d'une conductibilité électronique importante. Il semble d'autre part que, dans nos conditions expérimentales, le procédé soit limité vers les faibles teneurs en oxygène. En effet, il n'a pas été possible d'aboutir à une teneur résiduelle en oxygène dissous inférieure à 0,003₅ %.

La recherche qui s'est poursuivie en utilisant un laitier liquide comme électrolyte a permis de mettre en évidence la possibilité de désulfurer de façon très sensible une fonte placée à la cathode sous chlorure de calcium liquide. Une partie du soufre, après

s'être très vraisemblablement déchargée à l'anode, s'élimine du laitier par passage dans la phase gazeuse, comme le confirme l'examen des dépôts retrouvés dans les parties froides du four cependant que le laitier reste toujours sursaturé en cet élément par rapport au bain métallique.

Sous intensité constante, le rendement de l'électrolyse diminue en fonction du temps et également avec l'abaissement de la teneur en soufre de la fonte.

L'élimination d'une partie de l'oxygène et du soufre en solution dans un alliage ferreux peut également être obtenue par électrolyse de différents laitiers ternaires du système $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. Cette électrolyse provoque simultanément le transfert dans l'alliage de silicium provenant du laitier. Les rendements d'électrolyse, qui évoluent en fonction du temps, demeurent relativement faibles avec les laitiers utilisés. Les résultats obtenus permettent cependant de penser qu'une agitation du bain, difficile à réaliser avec le montage expérimental actuel, devrait améliorer sensiblement ces rendements d'électrolyse.

CONVENTION N° 6210-73/0/031

TITRE

Automatisation des fours de réchauffage à voûtes radiantes

BENEFICIAIRE(S)

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye

OBJECTIF

Cette recherche constitue la première phase d'une étude visant à l'automatisation des fours de réchauffage à voûtes radiantes. Le but de cette phase est l'établissement de modèles semi-théoriques de transfert de chaleur entre le four et la charge.

L'établissement de ces modèles suppose la réalisation préalable d'un assez grand nombre de mesures de températures dans les produits réchauffés grâce à une technique originale utilisant des sondes refroidies flexibles permettant de suivre en continu le produit pendant son déplacement dans le four.

TRAVAUX EXECUTES

Le programme de recherches a effectivement démarré au 1er octobre 1972. Les travaux effectués concernent les points suivants :

a) Choix du four

Le nombre d'installations existantes présentant les caractéristiques requises (voûte radiante complète, pas de chauffage inférieur) est encore très limité. Après examen des diverses possibilités, notre choix s'est porté sur le four à longerons n° 6 de l'usine SAINT JACQUES de la Société WENDEL SIDELOR (HAYANGE).

Ce four a démarré en janvier 1973. C'est un four à deux longerons mobiles mesurant 26,5 m sur 9,2 m (intérieurement); il est chauffé par 90 brûleurs à flammes plates disposés en voûte et répartis en 4 zones.

Le four réchauffe des blooms (production nominale 80 t/h) de section allant jusqu'à 300 mm x 430 mm.

Un four du même type (n° 5) fonctionne depuis fin 1971 à l'usine SAINT JACQUES; au cours du dernier trimestre 1972 nous avons suivi la marche de ce four de façon à définir les équipements

supplémentaires (températures de voûte par exemple) à prévoir sur le four n° 6 et nous avons procédé à un certain nombre de bilans et contrôles.

b) Mise au point technologique du matériel de mesures

Des essais complémentaires de tenue mécanique du dispositif de mesure des températures de produits ont été entrepris sur un four à billettes à voûte radiante sur lequel nous avons effectué en 1970 les premiers essais de mise au point de la méthode.

c) Modèles mathématiques

Les travaux de programmation d'un modèle de transfert thermique adapté aux voûtes radiantes ont été commencés durant le dernier trimestre 1972; un premier modèle simplifié a été mis au point.

L A M I N O I R S
W A L Z W E R K E
R O L L I N G M I L L S

REF. D 1

CONVENTION No 6210-54/1/011

TITEL

Recherches sur modèle sur les conditions de fin de laminage
et de refroidissement dans les trains de laminoirs à fil
machine

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

GEGENSTAND UND ZIEL

Die Wirkung der walz- und abkühltechnischen Einflußgrößen
auf die Drahteigenschaften zu untersuchen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Da in den bisher bekannten Untersuchungen kein Verfahren aufgezeigt wurde, das eine genaue Aussage über die zu erwartende Ziehfähigkeit von Walzdraht vor dem Ziehen zuläßt, wurde versucht, eine Beurteilung der Ziehfähigkeit aufgrund des Gefüges zu erreichen. Aus umfangreicher Literaturauswertung ergab sich, daß das Walzdrahtgefüge einen maßgeblichen Einfluß auf das Ziehverhalten hat. Deshalb wurde auch das jeweilige Gefüge als Beurteilungskriterium herangezogen. Es zeigte sich aber, daß über die Betrachtung des Gefüges allein keine eindeutigen Schlüsse auf das Verformungsverhalten des Drahtes gezogen werden konnten. Deshalb erschien es notwendig ein Verfahren mit einer zusätzlichen Aussagekraft in dieser Beziehung zu entwickeln.

Die im Clausthaler Institut für Verformungskunde vorhandenen Mittel erlaubten hierzu den Umbau der elektronischen Zerreißmaschine dahingehend, daß eine Drahtprobe durch einen Ziehstein gezogen werden konnte und die dabei auftretende Ziehkraft gemessen wurde. Um für die anschließenden Untersuchungen anhand des Gefüges und der gemessenen Ziehkraft eine breite Grundlage zu haben, mußte Drahtmaterial mit möglichst verschiedenen Werkstoffzuständen hergestellt werden. Dazu wurden Drahtproben aus den Kohlenstoffstählen D 45 - 2, D 65 - 2 und D 85 - 2 auf der kontinuierlichen Drahtstraße der Klöckner AG in Hagen-Haspe gewalzt. Durch Variation von Walzendgeschwindigkeit und Haspel-einlauftemperatur wurde versucht, den Werkstoffzustand des Drahtes zu beeinflussen.

Vom Gefüge her konnte im wesentlichen eine Aussage über den Kohlenstoffgehalt der einzelnen Proben gemacht werden, während unter Verwendung der gemessenen Ziehkräfte recht genau der Einfluß der Walzendgeschwindigkeit und der Haspeleinlauftemperatur auf den Werkstoffzustand des Walzdrahtes sichtbar wurde. Eine noch genauere Beurteilung wurde durch das Heranziehen der Werkstoffkennwerte, wie Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Brucheinschnürung möglich. Auch die Tiefe der Randentkohlung der Probe bedeutete noch eine Verfeinerung zur Beurteilung der Ziehfähigkeit aufgrund der Ziehkraftmessung.

Die Ergebnisse dieser Ziehkraftmessungen, unterstützt durch die Beurteilung des Gefüges (Mitte und Rand) und die Werkstoffkennwerte ließen recht genaue Aussagen über die Ziehfähigkeit eines Walzdrahtes zu. Hierbei zeigten die gemessenen Ziehkräfte den wesentlichsten Aussagewert, da sie in den meisten Fällen am deutlichsten auf die unterschiedlichen Werkstoffzustände ansprachen.

REF. D 3

CONVENTION No 6210-28/1/001

TITEL

Automatisation d'un train à tôles fortes et moyennes

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

HOESCH - Dortmund

GEGENSTAND UND ZIEL

Automatisierung des Walzablaufes einer zweigerüstigen Walzstraße für Grob- und Mittelbleche, insbesondere genaueres Ansteuern der Solldicke, Verbesserung des Ausbringens, Steigerung des Durchsatzes sowie Senkung der Instandhaltungs- und Reparaturkosten.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Die mathematischen Modelle am Vorgerüst wurden weiter verbessert. Im Modell für die Walzkraft wurden qualitätsabhängige Koeffizienten eingeführt, die eine wesentliche Steigerung der Genauigkeit bewirkten. Am Fertigerüst wurde die Genauigkeit einiger Modelle für die Walzung von Edelstählen verbessert. Für das Wartungspersonal wurde eine Formelsammlung sowie eine Dokumentation des Standes der Programmierung erstellt.

Da am Vorgerüst aus Zeitgründen nicht mit automatischer Steuerung der Transportfunktionen gewalzt wird, wurde eine Studie des Bewegungsablaufes durchgeführt. Aufgrund dieser Studie wurde entschieden, daß die augenblickliche Walzart - Vorgabe der Anstellung vom Rechner, Steuerung der Transportfunktionen vom Steuermann - für das Vorgerüst als optimal anzusehen ist. Von einer Umrüstung der Antriebe wurde Abstand genommen, da der Aufwand gemessen an den zu erwartenden Ergebnissen zu groß erschien.

Die Abschlußberichte über das gesamte Forschungsvorhaben wurden im Berichtszeitraum erstellt.

CONVENTION No 6210-53/1/011

TITEL

Etude sur le dimensionnement des éléments des trains de laminoirs à larges bandes et leurs possibilités d'exploitation en matière d'automatisation

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

GEGENSTAND UND ZIEL

Das Forschungsvorhaben ist in erster Linie darauf ausgerichtet, Störquellen an den Anlagenelementen von Warmbreitbandstraßen zu untersuchen und weitgehend auszuschalten. Dadurch soll es ermöglicht werden, die Vorteile der Automatisierung - höhere Leistung und größere Genauigkeit - voll zur Geltung zu bringen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Zur Untersuchung und Vermeidung von Störungen auf dem Auslaufrollgang und in der Haspelanlage wurden Filmaufnahmen gemacht, die das Bewegungsverhalten der Bandspitze auf dem Rollgang und beim Einlauf in die Haspelanlage zeigen. Auf diese Weise konnten bereits einige Störquellen ermittelt werden.

Im Rahmen einer Großmessung sollen Temperaturverhältnisse und Kühlwasserbedarf der Fertigstaffel beim Leistungs-speed-up bestimmt werden. Hierzu wurde eine entsprechende Kühlvorrichtung konstruiert und gefertigt. Für die Meßwerterfassung wurden technische Details geklärt; für die Meßwertverarbeitung und -auswertung Rechnerprogramme geschrieben.

Bei den Untersuchungen zur Automatisierung von Stoßöfen wurden die physikalischen Werkstoffdaten aufbereitet. Zur Überprüfung der Brammendurchwärmung beim Durchsatz durch den Stoßofen wurden Temperaturmessungen mit Schlepp-Thermoelementen durchgeführt.

Die Untersuchungen über die Zundernarbenbildung an Warmband wurden durch Messungen an einer Fertigstaffel fortgesetzt. Darüber hinaus wurde in Modellversuchen der Mechanismus der Zundernarbenentstehung geklärt.

CONVENTION N° 6210-53/2/021

TITRE

Utilisation de modèles plus évolués et plus complexes pour augmenter la productivité des trains continus à chaud à larges bandes

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

OBJECTIF

Améliorer la capacité de prévision du réglage a priori afin de permettre des changements de format plus importants et une plus grande souplesse dans l'établissement des programmes de laminage. Il en résulterait une diminution de l'importance des parcs à slabs et une amélioration des délais de livraison.

Incorporer dans la commande un modèle mathématique du profil et élaborer une stratégie basée sur le profil et la planéité. C'est la condition sine qua non pour l'extension de la commande aux faibles épaisseurs.

Améliorer la commande des rampes de refroidissement.

TRAVAUX EXECUTES

Les travaux effectués au cours de l'année sont relatifs aux cinq objectifs que nous nous étions fixés pour l'année 1972 :

a) Installation et mise au point de l'équipement

Les 5 calculateurs AEG 60-10 sont installés sur le site et reliés entre eux par deux types de canaux :

- canal de données géré par programme
- canal de liaison rapide

Les périphériques de gestion sont installés et mis en service.

Les pupitres de commande dans les cabines finisseur, dégrossisseur et cisaille ainsi que le pupitre de contrôle et de simulation de la salle des ordinateurs sont installés.

La périphérie du processus, les armoires d'interconnexion, les câbles vers le processus de l'électronique d'adaptation des signaux sont installés et presque complètement testés.

b) Poursuite de l'étude théorique des modèles

Une amélioration du modèle profil a permis une représentation plus correcte du profil de la bande près des rives.

Un nouveau modèle "planéité" a été élaboré; il permet une meilleure représentation des observations sur le train.

c) Collecte de données et mise au point des modèles off-line

Trois campagnes de mesures portant sur environ 400 coils ont permis les vérifications expérimentales des modèles profil, planéité, usure des cylindres, bombé thermique des cylindres. La précision atteinte est très satisfaisante.

Par ailleurs, les modèles force, puissance, température ont été testés avec et sans adaptation.

d) Mise au point on-line

Les programmes en langage machine ont été écrits et testés. Le démarrage en guide opérateur n'a pas été entrepris du fait de retards dans l'installation du hard-ware.

CONVENTION N° 6210-53/3/031

TITRE

Automatisation des trains de laminage continus à chaud à larges bandes - élaboration des consignes de réglage

BENEFICIAIRE(S)

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye

OBJECTIF

L'objectif final de la recherche est l'élaboration automatique des consignes de réglage a priori du train finisseur (écartement et vitesse des cylindres, conditions d'arrosage) afin de réaliser les caractéristiques imposées de la bande et d'optimiser l'utilisation du train.

TRAVAUX EXECUTES

Les travaux effectués au cours de l'année 1971 avaient permis la mise en oeuvre d'une collecte automatique de données et la connaissance des modèles de déformation élastique de la cage de laminoir et d'évolution thermique de la bande afin de réaliser le but fixé, à savoir possibilité de commande automatique à la fin de l'année 1972, nos travaux ont porté sur la mise en oeuvre des modèles restant à étudier et des divers algorithmes de réglage. Il a été ainsi possible de laminier, en automatique, une cinquantaine de tôles avant la fin de l'année. Les études ont donc porté principalement sur les postes suivants :

1. Modèle de déformation plastique de la bande (force et couple)

Il permet la connaissance des forces et couples de laminage enregistrés lors d'une passe. Nous avons séparé l'influence des caractéristiques géométriques de la passe (tiré des résultats de SIMS) de celle du métal (évolution de la contrainte d'écoulement en fonction de la réduction, température, vitesse de déformation). Il a été possible d'obtenir, après adaptation, une précision sur le modèle correspondant à un écart-type relatif de l'ordre de 5 %.



2. Algorithme de réglage du train

Cet algorithme fournit les divers paramètres de réglage afin de satisfaire un certain nombre de conditions :

- caractéristiques métallurgiques et dimensionnelles :
 - . épaisseur de tête de bande,
 - . température de fin de laminage,
- protection de l'outil (contraintes) :
 - . forces et intensités maximales,
 - . cône de vitesses,
- optimisation de la répartition de puissance cage par cage.

Il a été nécessaire d'optimiser au maximum cet algorithme afin que le temps de calcul soit pleinement compatible avec les contraintes de fonctionnement on-line.

3. Auto-adaptation des modèles

Les modèles utilisés sont à base de considérations physiques. Cependant, nos connaissances encore imparfaites des phénomènes, ainsi que les dérives éventuelles d'appareils de mesure nécessitent l'établissement d'algorithmes d'auto-adaptation. Nous les utilisons, actuellement, pour les procédures suivantes :

- . dérives de l'écartement à vide des cylindres,
- . modèle d'évolution thermique de la bande,
- . modèle de force et de couple.

REF. D 6

CONVENTION No 6210-64/1/011

TITEL

Méthode de contrôle et de conditionnement des semi-produits pour laminage en vue de l'élimination des défauts de surface

BEGÜNSTIGTE(R)

Thyssen Niederrhein AG - Oberhausen

GEGENSTAND UND ZIEL

Ein Adjustage-Verfahren für Knüppelhalbzeug mit objektiver Prüfung auf Oberflächenfehler und deren Beseitigung im Fluß unter Einsatz eines Prozeßrechners; Erprobung des Verfahrens an einer Pilotanlage zur Ermittlung von Daten für die Ausführung von Betriebsanlagen sowie gesicherter Information über Kosten und Wirtschaftlichkeit dieser Arbeitsweise.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

An der Pilotanlage wurde zunächst ohne Rechner die Nachweisgrenze der Prüfeinrichtung einschließlich der Impuls-Aufbereitungselektronik ermittelt. Die Nachweisgrenze für künstliche Risse lag bei 0,2 mm Rißtiefe, für natürliche Risse erstreckte sie sich über einen Bereich von 0,2 bis 0,4 mm. Dieser Bereich wird durch unterschiedliche Rißausbildung bei den verschiedenen Stahlqualitäten gegeben.

Die zur Klassierung und Lagebestimmung der Fehler entwickelte Impuls-Aufbereitungselektronik wurde überarbeitet. Das Signal-Untergrundverhältnis konnte wesentlich verbessert werden. Bei Rauhtiefen von 100 bis 150 μm liegt die Nachweisgrenze 6dB über dem Untergrund des differenzierten Signals.

Die Aufstellung und Inbetriebnahme von Satelliten- und Prozeßrechnern konnte abgeschlossen werden. Die Steuer-Programme sowie die Protokollierung wurden geprüft und bereinigt.

Um Einzelrisse von Rißfeldern zu unterscheiden, muß die Signaltiefe der Einzelrisse bekannt sein. Daher wurde diese Größe an verschiedenen Stahlqualitäten bestimmt und dem Rechner der Mittelwert eingegeben.

Mittels Reproduzierbarkeitstests wurde die Datenkette von der Aufnahme der Prüfinformation bis zur Ausgabe von Putzbefehlen

geprüft. Die ausgedruckten digitalisierten Eingabedaten für den Rechner waren gut reproduzierbar. Die Prüfungen des Programmteiles zur Verarbeitung der Eingabedaten zu Putzbefehlen sind noch nicht abgeschlossen.

Durch eine Glättung des Plasmastromes konnten Fugengrund wie auch Fugenrand der Putzspuren verbessert werden. An 10 Stahlgüten wurden walztechnisch gesehen einwandfreie Putzfugen eingebracht.

REF. D 7.1

CONVENTION No 6210-65/1/011

TITEL

Automatisation des trains de laminoirs tandems à froid

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Betriebsforschungs-
institut - Düsseldorf

GEGENSTAND UND ZIEL

Erarbeitung eines Konzeptes für die Stichplanberechnung und die Steuerung der Walzstraße unter Berücksichtigung der Wechselwirkung der einzelnen Gerüste untereinander, auch während der Beschleunigungs- und Verzögerungsphase.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Die Forschungsarbeiten befaßten sich mit der Entwicklung von Konzepten für die Stichplangestaltung und Dickenregelung. Dazu wurden, aufbauend auf Arbeiten von Köller-Troost, Gleichungen für Walzkraft, Walzmoment und Voreilung abgeleitet, wobei eine Überprüfung und gegebenenfalls eine Modifizierung anhand von Meßdaten vorgesehen ist. Die Formulierung eines geeigneten Optimierungskriteriums zur objektivierten Beurteilung der Güte von Stichplänen erwies sich als schwierig und langwierig, da sowohl Forderungen bezüglich der Maßhaltigkeit und Planheit des Kaltbandes als auch Forderungen zur Einhaltung oberer Belastungsgrenzen der Walzgerüste zu berücksichtigen sind. Diese Arbeiten werden fortgeführt. - Zur Bestimmung der Walzendeformation sowie der Walzspaltform wurden bereits explizite Gleichungen erarbeitet. Es ist damit z.B. möglich, bei gegebener Arbeitswalzenbombierung Walzkräfte und Walzenbiegekräfte anzugeben, wenn die Forderung nach Profilkonstanz beim Walzen erfüllt werden soll. - Das Problem des Bandverlaufens im ersten Gerüst von Tandemstraßen mit hydraulischer Anstellung konnte einer Klärung näher gebracht werden, da anhand von Messungen die Zahl der zunächst für möglich erachteten Störungsursachen eingeschränkt werden konnte. Hierzu sind weitere Messungen geplant.

Eine elastizitätstheoretische Untersuchung der D e f o r m a -
t i o n v o n W a l z e n lieferte die Grundgleichungen
für die Berechnung der Verformung von Quarto-Walzensätzen.
Aufbauend auf diesen Gleichungen wurde ein Rechnerprogramm er-
stellt, mit dem sich die Druckverteilung zwischen Stütz- und
Arbeitswalzen sowie die Walzspaltform berechnen lassen. Mit
diesem Programm kann der Einfluß verschiedener Walzenbiege-
einrichtungen auf die Form des Walzspaltes auch bei unsymmetri-
schen Biegekräften oder Biegemomenten bestimmt werden.

REF. D 7.2

CONVENTION No 6210-65/1/012

TITEL

Automatisierung des trains de laminoirs tandems à froid
- Influence des modifications des installations et des programmes introduits sur la performance des trains tandems à froid

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute -
Betriebsforschungsinstitut - Düsseldorf

GEGENSTAND UND ZIEL

Es soll ein Verfahren erarbeitet werden, mit dem die Durchsatzleistung von Kaltwalztandemstraßen bei Veränderung einzelner Anlagenbauteile und (oder) bei veränderter Zusammensetzung des Erzeugungsprogramms rechnerisch vorherbestimmt werden kann. Grundlagen dazu sind eine durch Messung zu erstellende detaillierte Zeitengliederung einer bestehenden Kaltwalztandemstraße und ein in Netzplantechnik dargestelltes Simulationsmodell für den Walzvorgang. Das Verfahren soll an einigen Kaltwalztandemstraßen unterschiedlicher Bauart und unterschiedlichen Alters getestet werden.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Das in einer umfangreichen Messung aufgezeichnete Zeitengerüst einer Kaltwalztandemstraße wurde mittels eines Rechenprogramms in die Abschnitte :

- Bundübergabe und Bundvorbereitung
- Einfädeln und Einsetzen
- Walzen
- Ausfädeln und Festwickeln
- Bundabtransport

zerlegt und für die Abschnitte Einfädeln, Walzen und Ausfädeln dahingehend ausgewertet, daß für alle Einzeltätigkeiten die bundzugeordneten Dauern bestimmt wurden. Gleichzeitig wurde ein vereinfachtes Netzplanmodell für die Abschnitte Einfädeln, Walzen und Ausfädeln programmiert und durch Einsetzen der ermittelten

Vorgangsdauern der Istzustand des Zeitengerüsts nachgebildet. In einem zweiten Rechnerlauf wurde ein Zustand simuliert, bei dem gegenüber dem Istzustand alle durch das Einfädeln verursachten und bei der Messung erfaßten Störungen wie Greiffehler, Bandverläufe und Banddopplungen eliminiert wurden. Es zeigte sich, daß die durch Wegfall der Störungen eingesparte Zeit nur zu knapp 70 % im Ergebnis wirksam wurde, da durch Verlagerungen des "Kritischen Weges" andere langsamere Einzeltätigkeiten wie beispielsweise das Freimachen des Aufwickelhaspels zeitbestimmend wurden.

Für die Simulation des gesamten Walzablaufes wurden für alle Einzeltätigkeiten die Vorschriften zur Bestimmung der Vorgangsdauer in Abhängigkeit von Anlagendaten, Produktdaten und Zufallsgrößen bestimmt. Diese Vorschriften bestehen je nach Art der Einzeltätigkeit aus konstanten Zeitdauern, diskreten Funktionen oder statistischen Verteilungen. Ihre Ermittlung geschah mit Hilfe von hierfür erstellten Auswerteprogrammen und vorhandenen Programmen für Regressionsanalysen, statistische Verteilungen und das Plotten von Diagrammen.

REF. D 8

CONVENTION No 6210-71/3/031

TITRE

Contre-Flexion des cylindres de laminoirs et son utilisation pour la commande optimale des laminoirs.

BENEFICIAIRE(S)

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française -
St. Germain-en-Laye

OBJECTIF

- Définition d'une méthode originale de calcul de la déformation des cylindres sous l'effet de la force de laminage et l'effet de force de cambrage, et écriture d'un programme Fortran associé;
- Elaboration d'une stratégie originale de commande automatique optimale du laminage à chaud des tôles sur cage réversible équipée d'un dispositif de cambrage des cylindres;
- Elaboration d'un algorithme et d'une stratégie originale de régulation absolue optimale de la forme des tôles par action sur l'écartement des empoises des cylindres et le cambrage des cylindres;
- Comparaison des capacités des dispositifs de cambrage des cylindres;
- Comparaison des jauges de mesure des profils des tôles.

TRAVAUX EXECUTES

1. Définition d'un modèle simplifié de déformation des cylindres
 - Une première phase de ce travail a conduit à l'écriture d'un programme ordinateur en Fortran de calcul de la déformation des cylindres d'après les modèles d'Hitchcock pour la déformation de la section droite des cylindres, la théorie des poutres pour la déformation de la section longitudinale des cylindres, le modèle d'Orowan pour le calcul de l'état de contrainte dans l'emprise des cylindres;
 - Une seconde phase de ce travail a conduit à l'écriture d'un programme ordinateur en Fortran de calcul de la déformation des cylindres d'après la théorie tridimensionnelle de Yih-Ping-Chiu.

2. Définition d'une stratégie de détermination du schéma de laminage

La stratégie de détermination du schéma de laminage permet de définir les valeurs optimales de l'écartement des empoises des cylindres, de la vitesse de rotation des cylindres, et de la force de cambrage des cylindres qu'il faut exécuter à chaque passe de laminage.

Une stratégie a été définie de façon à favoriser à chaque passe de laminage la déformation la plus grande à l'exception de la dernière. Un programme ordinateur en Fortran de calcul du schéma de laminage est en cours d'écriture d'après cette stratégie et d'après le modèle IRSID du laminage des tôles.

REF. D 9

CONVENTION No 6210-79

TITRE

Gestion de l'ensemble Pits-Slabbing

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherche de la Sidérurgie Française -
St.Germain-en-Laye

OBJECTIF

- a) Définir un critère de défournement permettant l'optimisation des conditions de laminage au blooming ou au slabbing et la diminution de la dispersion des températures de fin de laminage.
- b) Prévoir aussitôt que possible après l'enfournement d'une coulée l'instant de défournement.

TRAVAUX EXECUTES

La première étape de la recherche a été franchise; elle consistait à mettre au point une méthode de mesure qui caractérise l'état thermique des lingots au défournement par l'énergie absorbée pendant le laminage en fonction de l'allongement du produit. Nous avons tout d'abord montré par des essais préliminaires le bien-fondé de cette méthode; il est possible de relier l'état thermique du lingot à la pente k de la droite représentant l'énergie cumulée en fonction du logarithme de l'allongement.

Au cours d'une première campagne de mesures, nous avons relevé l'énergie de laminage absorbée à chaque passe par l'intégration au cours du temps du produit: couples mesurés aux allonges x vitesse de laminage. L'allongement étant calculé en mesurant à chaque réduction la longueur du produit laminé par l'intégration de la vitesse de laminage en fonction du temps. Cette méthode de mesure était rigoureuse dans son principe, mais présentait un point faible quant à son utilisation pratique: elle exigeait les mesures des couples de laminage. Or, d'une

part, la plupart des bloomings et slabbings ne sont pas équipés de cette mesure, et, d'autre part, les équipements mobiles de mesure de couples ne sont pas destinés à fonctionner de manière permanente dans des conditions industrielles. Il fallait donc tenter de simplifier au maximum les mesures nécessaires pour caractériser l'état thermique du lingot et, si possible, de le faire à partir de capteurs existants sur tous les blommings et slabbings.

Ceci a fait l'objet d'une deuxième campagne de mesures. L'énergie de laminage était mesurée par l'intégration du produit courant-tension des moteurs; les signaux courant-tension étaient traités par un mini-logger qui calculait l'énergie de laminage et perforait les résultats sur bande. L'allongement était calculé à partir de la position des vis à chaque passe.

Les résultats des derniers essais ont montré qu'il était possible de relever l'énergie de laminage en fonction de l'allongement à partir de capteurs existant sur tous les bloomings et slabbings et sans entraîner de perturbations dans la production.

CONVENTION N° 6210-79

TITRE

Gestion de l'ensemble Pits-Slabbing

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

OBJECTIF

Etablissement de normes de chauffage aux fours pits et adaptation des schémas de laminage d'un slabbing à l'état thermique des lingots.

TRAVAUX EXECUTES

L'activité du deuxième semestre 72 a été consacrée à des essais préliminaires consistant, d'après des mesures relevées manuellement sur un slabbing, à définir quelle sera l'allure des schémas de laminage d'après la nuance de l'acier, et d'autre part à définir la configuration du système informatique destiné à la collecte des données et à la diffusion des schémas dans une cabine de laminage, enfin l'aspect normes de chauffage a été étudié par des calculs concernant de nouveaux lingots.

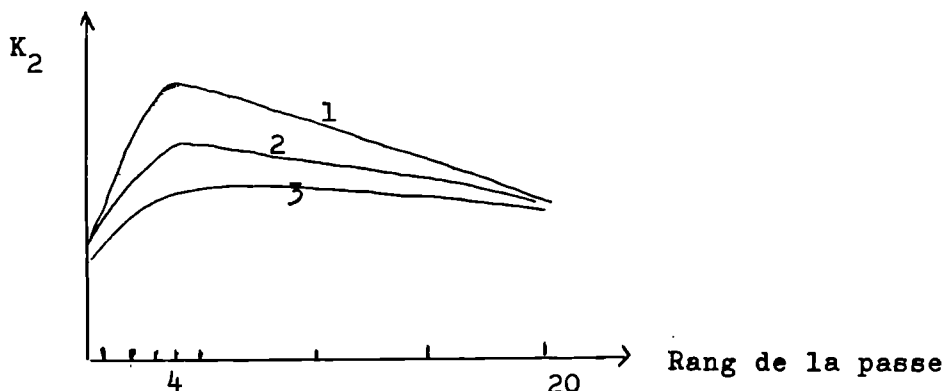
1. Essais préliminaires

Ces essais ont été effectués sur le slabbing d'USINOR à Dunkerque qui lamine à vitesse de base et où il n'y a pas de mesure de force. Nous avons calculé le paramètre

$$K_2 = \frac{i}{l \Delta h}$$

- . i = intensité d'induit du moteur supérieur
- . l = largeur
- . Δh = réduction absolue.

Nous avons trouvé qu'au cours du laminage d'un lingot, ce paramètre varie en fonction du rang de la passe suivant le schéma indiqué ci-dessous



Il y a donc une montée rapide de K_2 en trois à quatre passes à plat suivie d'une descente pour la nuance 1 (calmé à haut manganèse) ou d'un palier pour la nuance 3 (effervescent). Cette allure donne une première indication sur la répartition souhaitable des réductions qu'il faudra adopter. On voit en particulier que pour certaines nuances il y aura lieu d'effectuer des réductions allant en croissant (schémas progressifs).

2. Définition du système informatique

Ce système informatique est destiné en principe à être installé sur le slabbing d'USINOR à Dunkerque. Les grandeurs collectées comprennent les intensités et les tensions des moteurs ainsi que les positions de vis. Par ailleurs, l'histoire thermique des lingots (track-time, temps de montée en température de la cellule pit) sera connue d'après les données collectées par un système informatique déjà en place à base de calculatrices IBM 360.

Une configuration à base d'unité centrale CII MITRA 15 a été définie.

3. Normes de chauffage

L'histoire thermique des lingots d'USINOR Dunkerque et de SOLLAC a été étudiée par simulation sur ordinateur à l'aide des programmes précédemment mis au point. Il reste encore quelques types de lingots à étudier.

METHODE DE MESURES ET D'ANALYSES

MESS- UND ANALYSEMETHODEN

METHODS OF MEASUREMENTS AND ANALYSIS

CONVENTION No 6210-21/1/071

TITEL

Mesures en sidérurgie (1er programme)
- Analyse de l'acier liquide par électrochimie

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherche Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française -
St. Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Das Ziel der von uns angestellten Untersuchungen ist die Entwicklung von Elektrolyten zur Messung von Schwefelaktivitäten. Von den drei Möglichkeiten - der Ankopplung eines thermodynamisch bekannten festen Sulfids an einen anderen Festelektrolyten mit gemeinsamen Kationen, der Präparation eines rein ionenleitenden Sulfids und dem Einbringen schwefelionenhaltiger Schmelzen in ein festes Trägergerüst - wurden die beiden letztgenannten Möglichkeiten bisher erforscht.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Versuche über das elektrische Leitfähigkeitsverhalten von Kalziumsulfid, das mit Yttriumsulfid bzw. Lanthansulfid dotiert worden war, haben ergeben, daß die Leitfähigkeit der untersuchten Erdalkalisulfide bis auf kleine Bereiche der Schwefelaktivität von dieser abhängig sind. Hierdurch ist bewiesen, daß elektronische Ladungsträger für die elektrische Leitfähigkeit mit verantwortlich sind und damit die genannten Erdalkalisulfide keine brauchbaren Elektrolyte zur Messung von Schwefelaktivitäten abgeben werden. Leider sind im allgemeinen die Oxide der Erdalkalien stabiler als ihre Sulfide, so daß auch aus diesem Grunde in der Praxis die festen Erdalkalisulfide nur sehr beschränkt für Schwefelaktivitätsmessungen infrage kommen.

Entsprechend unseren früheren Überlegungen wurden im Berichtszeitraum EMK-Eichmessungen an unterschiedlich zusammengesetzten flüssigen Silikatschmelzen, die Schwefelionen enthielten, durch-

geführt. Es wurden sowohl Kohleelektroden als auch Goldelektroden verwendet. Die Schwefelaktivitäten wurden mit Hilfe von H_2/H_2S -Gemischen eingestellt. Die Messungen lassen erkennen, daß Elektrolyte der Zusammensetzung $SiO_2-K_2O-Na_2O-Na_2S$ reproduzierbar nach Eichung die Werte der Schwefelaktivitäten anzeigen. Gleichzeitig wird festgestellt, daß die angezeigten Werte nicht die theoretisch berechneten EMK-Werte sind, sondern daß die von uns gemessenen EMK-Werte nur etwa die Hälfte der theoretischen Werte betragen. Die Einstellzeiten für reproduzierbare EMK-Messungen dieser Art im Temperaturbereich zwischen 700 und 900°C betragen je nach Aktivitätsdifferenz bis maximal 3 Stunden. Sowohl diese zeitliche Verzögerung als auch die gegenüber dem theoretischen Wert verminderte EMK weisen darauf hin, daß im genannten Elektrolyten der Schwefel in beträchtlicher Menge löslich ist und die Aktivitätsdifferenzen Diffusionspotentiale zur Folge haben. Daneben können noch Seitenreaktionen, die im einzelnen nicht bekannt sind, stattfinden.

Damit scheint festzustehen, daß der von uns eingeschlagene Weg zur Messung von Schwefelaktivitäten nach vorheriger Eichung im Laboratorium befriedigende Ergebnisse zeitigt, daß jedoch für die Praxis infolge der Ausbildung der Diffusionspotentiale und der langen Einstellzeiten für eine konstante EMK beim augenblicklichen Stand der Dinge noch kein Weg zur Bestimmung von Schwefelaktivitäten gefunden wurde. Daß das Einbringen der flüssigen Elektrolyte in feste Trägergerüste daran etwas ändert, ist nicht anzunehmen.

CONVENTION No 6210-21/1/071

TITEL

Mesures en sidérurgie (1er programme)

- Mesure du débit de la coulée de la fonte (pompes magnétiques)

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherche Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française -
St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Entwicklung von elektromagnetischen Förder-, Dosier- und
Verschlußorganen für flüssiges Eisen

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Im Jahr 1972 wurden die Eigenschaften des linearen Induktors als
Verschlußorgan erprobt.

Der Aufbau der Versuchsanlage besteht aus dem Ofengehäuse, dem
Heizinduktor und dem Verschlußkanal.

Das Ofengehäuse ist drehbar gelagert und kann mit einer Hydraulik
soweit gehoben werden, daß der Kanal des Heizinduktors voll-
ständig entleert werden kann. Der Ofenraum, mit einem Fassungs-
vermögen von 1,5 t Grauguß, ist durch zwei Türen zugänglich,
einer Schlackentüre und einer Türe im Ofendeckel. Der Heiz-
induktor ist am Ofengehäuse angeflanscht. Er ist in seiner
Wirkung mit einem Transformator zu vergleichen. Die Sekundär-
wicklung ist der im Betrieb mit flüssigem Metall gefüllte Ring-
kanal. Die Erregerspule besitzt eine Anzapfung. So ist es mög-
lich, zwei verschiedene Windungszahlen und damit zwei ver-
schiedene Nennwirkleistungen einzustellen (P = 125 KW, 156 KW).

Die Verschlußstrecke besteht aus zwei flachen, linearen Induk-
toren mit gleichen elektrischen Daten. Diese sind durch zwei
Seitenteile fest miteinander verschraubt und an das Ofengehäuse
angeflanscht. Bei Ausmauerungsstärken von 5 cm zu den Induk-

toren und 15 cm zu den Seiten ergibt sich im Mittelbereich ein geschlossener Kanal mit einer Breite von 18 cm und einer Höhe von 4 cm. Da jeweils ein Pol eines jeden Induktors abgewinkelt ist, verbreitert sich der Kanal zum Auslauftrichter und Ofengefäß. Für die Verschußversuche wurde der Ofen mit ca. 1 t Grauguß gefüllt. Eine Abdeckung der Badoberfläche mit Koksgrus verhinderte eine Entkohlung.

Zu Beginn der Verschußversuche wurde die Schmelze im Ofen überhitzt und der Kanal durch einen in die obere Ofentüre eingesetzten Brenner aufgeheizt. Nach Einschalten beider Induktoren wurde die Rinnensteigerung von 16° auf ca. 2° vermindert. Ein Absenken über diese Marke hinaus führt zum instabilen Betrieb. Die Strömungsvorgänge konnten durch die geöffnete Türe im Auslauftrichter beobachtet werden. An den Rändern des Kanals wird das Eisen zum Ausfluß gedrückt, im Mittelbereich in den Ofen zurückgedrückt.

Während der Verschußversuche wurde der Heizinduktor mit einer Leistung von 52 KW bei einem Ofeninhalt von 1 t betrieben. Diese Leistung führt beim Warmhalten der Schmelze zu einer Temperaturerhöhung von ca. 10°C in einer halben Stunde. Während eines Verschußversuches über 60 Minuten war jedoch ein Temperaturverlust von 80°C im Ofengefäß zu messen. Die Temperatur lag am Ende des Kanals nur 40°C unter der des Bades. Dies zeigt, daß sich im Kanal eine großräumige Strömung ausbildet, die zu einem Materialaustausch des Eisens im Kanal mit dem im Ofen führt.

Nach 70 Minuten mußte der Verschußversuch abgebrochen werden, da die Temperatur der Schmelze im Ofen auf 1300°C abgesunken war. Im Kanal war trotz der langen Versuchszeit kein Eisen eingefroren. Die Verschußversuche wurden mehrmals wiederholt und der Versuch nach einer Versuchsdauer von zweimal 17 Tagen ohne Durchbrüche beendet.

CONVENTION No 6210-21/3/073

TITRE

Mesures en Sidérurgie (1er programme)
- Contrôle non destructif (Ultrasons)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française -
St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Etude du champ de détectabilité des palpeurs ultrasonores.
Réalisation d'installations de relevé automatique du champ.

TRAVAUX EXECUTES

Pour cette étude deux appareils automatiques ont été réalisés. L'IRSID étudie le champ des palpeurs dans l'eau en utilisant une cible réflectrice; le champ est alors caractérisé, en tout point, par la hauteur de l'écho sur la cible. Cette méthode fournit non pas le champ d'intensité ultrasonore, mais le champ de détectabilité, ce qui correspond bien au cas du contrôle non destructif par ultrasons.

Pour relever les diagrammes de rayonnement, deux installations ont été construites et mises au point :

- la première installation, souple et rapide fournit par photographie d'un tube cathodique une représentation panoramique ou une représentation en courbes d'égale sensibilité
- la seconde installation utilise des diodes électroluminescentes dont on module l'intensité lumineuse; la hauteur de l'écho est quantifiée en six niveaux qui sont traduits par une gamme de six gris ou de six couleurs différents. Cette installation, plus lente mais précise, complète la première sans la concurrencer.

Ces installations ont permis le tri des palpeurs industriels destinés aux installations de contrôle ultrasonore automatique. Elles ont été aussi utilisées pour tester une méthode de fabrication de palpeurs sans soudures. Enfin, des palpeurs ont été confiés à l'IRSID par ses commettants pour étude et caractérisation de leur rayonnement.

REF. E 1.1

CONVENTION No 6210-21/070

TITRE

- Mesures en sidérurgie (1er programme)
- Mesure du débit de la coulée de la fonte (pompes magnétiques)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Il s'agit de développer l'application des champs électro-magnétiques en sidérurgie

TRAVAUX EXECUTES

Les crédits étant épuisés, on a simplement terminé les recherches en cours ou les rédactions de rapports :

- Transport de métaux liquides : rédaction d'un rapport de synthèse et constitution d'un dossier pour implantation sur un plancher de haut fourneau d'un chenal électromagnétique (relèvement de niveau, décrassage, désulfuration).
- Brassage à la coulée continue : fin des dépouillements métallurgiques sur la propreté interne des billettes brassées et non brassées.
- Mesure de température de métal solide : fin du montage de laboratoire.

CONVENTION No 6210-21/070

TITRE

Mesures en sidérurgie (1er programme)
- Analyse des gaz de H.F. et de convertisseurs (spectrométrie de masse)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française -
St.Germain-en-Laye
Centro Spérimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Il s'agit de développer l'application de la spectrométrie de masse en sidérurgie pour l'analyse des gaz et fumées, à partir d'un appareil étudié par l'IRSID et THOMSON - CSF, le TSP 215 P.

TRAVAUX EXECUTES

Les travaux se sont orientés dans deux directions :

- d'une part, amélioration du matériel mis au point à la suite des essais de l'IRSID (appareil TSN 215 P) par des tests au laboratoire et des suivis de campagnes en usine.
- d'autre part, nouvelle application de la spectrométrie de masse en aciérie à l'oxygène : il est possible avec deux spectromètres de masse (dont au moins un TSN 215 P) de mesurer en continu le débit de fumées en appliquant la méthode dite du traçage chimique - Servent de traçeur d'une part l'argon, d'autre part l'azote - Un spectromètre de masse TSN 215 P sert à l'analyse des fumées. Un autre appareil (TSN 215 P ou quadripole) sert à doser l'argon dans l'oxygène du soufflage.

CONVENTION No 6210-21/070

TITRE

Mesures en sidérurgie (1er programme)
- Mesure de la planéité des tôles

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française -
St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Planéité -
On cherche à mettre au point un moyen de contrôle en continu de l'état de planéité d'une bande lors du laminage à froid ou du traitement de skin pass.

TRAVAUX EXECUTES

Les essais ont été effectués avec deux méthodes :

- d'une part une méthode magnétique connue par la littérature technique (procédés de la BISRA et de JONES and LAUGHLIN)
- d'autre part, une méthode d'enregistrement des vibrations en appliquant des idées précédemment développées à l'IRSID.

La méthode magnétique a été améliorée au Laboratoire et commence à être essayée en usine sur un skin pass pour tôle carrosserie.

La méthode d'enregistrement des vibrations a été essayée directement en usine sur un skin pass pour fer blanc. Les capteurs utilisés ont d'abord été optiques et sont maintenant inductifs.

REF. E 1.1

CONVENTION No 6210-21/3/073

TITRE

Mesures en sidérurgie (1er programme)
- Sondage des demi-produits chauds (Ultrasons)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française -
St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Etude et mise au point d'un procédé de sondage ultrasonore des produits sidérurgiques à haute température en vue, plus particulièrement, de pouvoir détecter sur la ligne de fabrication les retassures dans les brames et les blooms avant cisailage à chaud.

Etude annexe concernant la propagation des ultrasons dans l'acier chaud.

TRAVAUX EXECUTES

- Poursuite des mesures de laboratoire concernant la propagation à chaud des ultrasons dans l'acier; mesure de l'atténuation et de la vitesse des ondes pour différentes fréquences ultrasonores de 0,6 à 4 MHz et pour différents types d'acier (acier faiblement corroyé, acier doux corroyé).
- Poursuite de la mise au point du procédé IRSID de sondage ultrasonore et plus particulièrement de la tête de sondage, à la fois du point de vue ultrasonore (étude du traducteur optimum) et du point de vue de la technologie du couplage hydraulique et du refroidissement. Ces mises au point ont été réalisées dans le cadre de travaux de laboratoire mais aussi de campagnes d'essais effectuées en usine sur une ligne de slabbing.

CONVENTION No 6210-52/1/011

TITEL

Mesures en sidérurgie (2ème programme)
- Mesure des dimensions transversales du fil suivant plusieurs diamètres (cellule photométrique)

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française
St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Die Querschnittsform von Draht und Feinstahl soll mit Hilfe der Holographie sichtbar gemacht werden.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Eine Einrichtung für die Erzeugung von Ultraschallhologrammen und deren direkte Rekonstruktion mit Laserlicht wurde aufgebaut. Dabei werden in einem Wasserbad zwei Ultraschallschwinger betrieben und so eingerichtet, daß die Wellenfelder sich an der Wasseroberfläche treffen. Wird in eines der Wellenfelder ein Objekt eingebracht, so stellt die von den Ultraschallwellen verformte Wasseroberfläche ein Hologramm dar, das auch optisch ausgewertet werden kann. Diese Technik erwies sich jedoch als sehr schwierig und es konnten bisher keine brauchbaren Ergebnisse erzielt werden.

REF. E 1.2

CONVENTION No 6210/52/1/011

TITEL

Mesures en sidérurgie (2ème programme)
- Mesure de la largeur des tôles fortes en position oblique -
par roto sondes (procédé optique)

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Auf der Basis des Rota-Kopfes soll ein Meßgerät entwickelt werden, mit dem die Breite von Grobblech auch bei schräg auf dem Rollgang liegenden Blechen gemessen werden kann, das Gerät soll billiger und einfacher als die bisher bekannten sein.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Das optische Auflösungsvermögen von Silizium-Avalanche-Fotodioden wurde untersucht, eine Auflösung von 100 μ m ließ sich leicht erreichen. Das bedeutet z.B. mit einer Optik von 100 mm Brennweite eine Auflösung von 4 mm auf 4 m Entfernung.

CONVENTION No 6210-52/1/011

TITEL

Mesures en sidérurgie (2ème programme)
- Mesures de l'usine et de la température des cylindres de laminoirs (infrarouge)

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Damit beim Walzen von Bandstahl die Querschnittsabmessungen und die Oberflächenbeschaffenheit mit den erforderlichen Toleranzen eingehalten werden und andererseits die jeweils im Gebrauch befindlichen Walzen möglichst gut ausgenutzt werden, ist es erforderlich, den Walzenverschleiß und die Temperaturverteilung längs der Walzenoberfläche zu kennen. Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Erprobung von Einrichtungen zum Erfassen des Walzenverschleißes und der Temperaturverteilung auf der Walzenoberfläche.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Nach der Zusammenstellung der verschiedenen Verschleißerscheinungen an Kaltwalzen und ihrer Wertung im Hinblick auf die Walzenhaltbarkeit wurde ein Erfassungssystem erstellt, mit dem die wesentlichen Einflüsse auf die verschiedenen Verschleißarten während der Laufzeit einer Walze erfaßt werden sollen. Die wesentlichen Einflußgrößen auf die Walzenhaltbarkeit sind der Walzenwerkstoff selbst und die walztechnischen Parameter, aus denen sich die Belastung der Walze ergibt.

Zusätzlich zu den Informationen, die vom Walzbetrieb zu erhalten sind, wie z.B. gewalzte Qualität, Stichabnahme, Bundgewicht, Durchmesserabnahme beim Schleifen der Walze usw., sollen vor allem die Walzkraft, die Zahl der Umdrehungen der Walze und der Ankerstrom während des Walzens kontinuierlich registriert, sowie alle örtlichen Beschädigungen, die durch Schleifen abgearbeitet werden, nach Größe und Lage auf der Walzenoberfläche erfaßt werden.

Aus diesen Informationen sollen Rückschlüsse auf den Einfluß der durchschnittlichen Walzkraft und möglicher Überlastungen sowie die Wirkung vorhergehender Beschädigungen auf den Walzenverschleiß erhalten werden, aus denen dann Hinweise zur Verbesserung der Walzenhaltbarkeit zu erwarten sind.

Zur Aufnahme der kontinuierlich anfallenden Meßwerte wurde ein automatisches Aufnahme- und Registriersystem erstellt und eine erste Versuchswalze über ihre gesamte Einsatzzeit verfolgt. Zur Zeit erfolgt die Auswertung dieser ersten Messung.

Die Untersuchungen zur Ermittlung des Temperaturprofils an der Walzenoberfläche werden nicht weitergeführt. Die Gründe hierfür sind den halbjährlichen Tätigkeitsberichten zu entnehmen.

CONVENTION No 6210-52/1/011

TITEL

Mesures en sidérurgie (2ème programme)

- Détermination de l'usure de réfractaire et de la scorie résiduelle par mesure du poids du convertisseur

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Die Messungen sollen dazu dienen, um an einem Konvertermodell durch kontinuierliche Messungen der Einsatzgewichte und Kippmomente Aufschluß über den jeweiligen Prozeßzustand zu erhalten.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Die Arbeiten im Berichtszeitraum konzentrierten sich ausschließlich auf die Fertigung der Konvertermodell-Einzelteile sowie deren Zusammenbau. Die Montage ist abgeschlossen. Mit der Steuerung des Gleichstrom-Antriebsmotors und dem Aufbau der Meßwertregistrierung ist begonnen worden, Ergebnisse liegen noch nicht vor.

REF. E 1.2

CONVENTION No 6210-52/1/011

TITRE

Mesures en sidérurgie (2ème programme)

- Echange de chaleur dans les fours Martin (étude sur maquette)

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

- a) Bestimmung der optimalen Brenneranordnung beim Herdofen im Hinblick vor allem auf den konvektiven Wärmeübergang.
- b) Bestimmung des Stoffüberganges im Konverter mit dem Ziel, diesen Stoffübergang zu optimieren.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Die Grundlagenuntersuchungen über den Stoffübergang bzw. den konvektiven Wärmeübergang von einem unverdrallten und verdrallten Einzelfreistrahler an eine senkrecht angeströmte ebene Platte wurden abgeschlossen. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgt im Laufe des Jahres 1973. Eine formelmäßige Beschreibung des örtlichen Stoff- bzw. Wärmeüberganges ist nur außerhalb des Staubereichs der Strömung möglich, da der Einfluß des Turbulenzgrades der Gasströmung nicht quantitativ erfaßt wurde. Es erscheint vor allem im Hinblick auf die industrielle Anwendung auch wenig sinnvoll, diesen Einfluß in allen Einzelheiten auszumessen. Sinnvoller ist es dagegen, mittlere Stoff- bzw. Wärmeübergangszahlen zu bilden, deren Abhängigkeit von den Versuchsparametern zudem im gesamten Bereich der angeströmten Platte mathematisch erfaßt werden konnten. Verdrallte Strahlen ergeben gegenüber unverdrallten nur dann einen erhöhten Stoff- bzw. Wärmeübergang, wenn der Abstand zwischen Düse und Platte relativ klein gewählt wird. Für die industrielle Praxis bedeutet dies, daß es nur in Ausnahmefällen möglich ist, durch ein Verdrallen der Strahlen einen höheren Stoff- bzw. Wärmeübergang zu erreichen.

Die Untersuchungen im geschlossenen Ofenraum mit einer Einzelbrenneranordnung an der Ofendecke zeigten, daß die an Freistrahler gewonnenen Ergebnisse nur bedingt auf Ofenräume übertragen werden können. Angaben zur Brenneroptimierung sind noch nicht möglich, da die Versuche mit Mehrbrenneranordnungen und über den Einfluß der Ofengeometrie noch nicht abgeschlossen sind.

CONVENTION No. 6210-52/1/011

TITEL

Mesures en sidérurgie (2ème programme)

- Mesure de la température des produits dans les fours de réchauffage ou de traitement thermique (Pyrométrie optique)

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Lay

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Berichtigung fehlerhafter pyrometrischer Temperaturanzeigen infolge Reflexion von Sekundärstrahlung an der Wärmgutoberfläche im Ofen mit Hilfe geeigneter, zusätzlicher pyrometrischer Temperaturstrahlungsmessungen und analoger Korrekturschaltungen zur Signalverarbeitung.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Im Berichtszeitraum wurden die Fehlereinflüsse bei der pyrometrischen Temperaturmessung von Wärmgut in Öfen näher untersucht und mit Versuchsmessungen verglichen, um geeignete Berichtigungen zu entwickeln.

Unter Berücksichtigung des temperaturabhängigen Emissionsgrades wurden typische Fehlerverläufe untersucht und Berichtigungsansätze entwickelt. Die Ergebnisse wurden kritisch auf ihre meßtechnische Verwirklichung geprüft, insbesondere die erforderliche Auflösung und die Rechengenauigkeit. Dabei erwies es sich als zweckmäßig, abschnittsweise Näherungslösungen anzustreben.

Die praktischen Versuchsmessungen an blanken Stahloberflächen sollten Aufschluß über die echte Temperaturabhängigkeit des Emissionsgrades liefern. Dabei zeigte sich deutlich der Einfluß der Verzungderungsgeschwindigkeit auf den spektralen Emissionsgrad. Selbst in sauerstofffreier und trockener Schutzgasatmosphäre war ein Anlaufen der Oberfläche nicht zu vermeiden. Hierbei spielt die Aufheizzeit eine entscheidende Rolle.

REF. E 1.2

CONVENTION No 6210-52/1/011

TITEL

Mesures en sidérurgie (2ème programme)
- Réétalonnage des appareils de mesure

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Es soll eine Möglichkeit gefunden werden, Betriebsmeßgeräte in Produktionspausen mit Hilfe eines Digitalrechners selbsttätig nachzueichen. Versuche hierzu sollen an einem Röntgen-Dickenmeßgerät durchgeführt werden.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Es wurde versucht, in wievielen Stützwerten die einzelnen Kurven in den Rechner eingegeben werden müssen und welche Art der Inter- und Extrapolation gewählt werden muß.

Die Abweichungskurven bei unterschiedlichen Sollwerten müssen nach den Untersuchungen jeweils in 3 Stützwerten eingegeben werden. Durch quadratische Inter- und Extrapolation können Zwischenwerte genügend genau berechnet werden.

Die durch die einzelnen Probestücke gegebenen Abgleichpunkte für die Sollwerte liegen mit so guter Genauigkeit auf einer Geraden, daß vom Rechner ein linearer Verlauf vorgegeben werden kann. Abweichungen von der Linearität werden während der Nacheichung festgestellt und durch Neufestlegung der Nullpunkte der Abweichungskurven berücksichtigt. Ein digital ansteuerbarer Probengeber wurde weitgehend fertiggestellt, ist aber nur am ausgefahrenen Gerät zu betreiben.

Es wird versucht, einen Probengeber zu konstruieren, der auch bei eingefahrenem Gerät in Walzpausen zu betreiben ist.

CONVENTION No 6210-52/1/011

TITEL

Mesures en sidérurgie (2ème programme)

- Mesure des efforts de laminage par capteur de faible épaisseur (jauges de contrainte spéciales)

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Der nachträgliche Einbau von Kraftmeßdosen in Walzgerüste ist häufig schwierig oder unmöglich wegen zu großer Bauhöhe der heute verfügbaren Kraftmeßdosen.

Die heutigen technischen Möglichkeiten, die durch Kleinstdehnungsmeßstreifen, Mikroelektronik und frequenzmodulierte Meßwertübertragung gegeben sind, sollen darauf hin untersucht werden, wieweit diese, kombiniert mit bisher zwar bekannten aber nicht genutzten physikalischen Effekten, z.B. der Druckabhängigkeit des elektrischen Widerstandes verschiedener Werkstoffe, zum Erstellen von Kraftmeßdosen geringster Bauhöhe geeignet sind.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Die bisher durchgeführten Arbeiten umfaßten theoretische und Laboruntersuchungen. Es wurde die Druckabhängigkeit des spezifischen Widerstandes verschiedener Metallegierungen untersucht und diese Erkenntnisse bei dem Prototyp der Druckmeßdose verwertet.

Weiter waren die Arbeiten darauf ausgerichtet, in einer Versuchsmeßdose unterschiedliche Kautschukarten auf ihre Brauchbarkeit hin zu prüfen. Die hierbei auftretenden Schwierigkeiten wie Lufteinschluß und Leckverluste, die eine Zerstörung der Kraftmeßdose nach sich ziehen, konnten beseitigt werden.

Mit einem erstellten Versuchsmodell wurde der erwartete Meßeffect nachgewiesen. Trotz der geringen Bauhöhe der Versuchsmeßdose von nur etwa 10 mm ergibt sich, wie nachgewiesen werden konnte, eine sehr gute Linearität, hohe Nullpunktskonstanz nach Wegnahme der Belastung (besser als 0,5 %) und eine geringe Hysterese (ebenfalls besser als 0,5 %).

CONVENTION No 6210-52/1/011

TITEL

Mesures en sidérurgie (2ème programme)

- Mesure des efforts de laminage (jauges de contrainte DMS)

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Grundsätzliche Aussagen über Einsatzfähigkeit verschiedener Kraftmeßdosen und Krafteinleitungssysteme. Entwicklung eines betriebssicheren Dehnungstransformators.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

a) Entwicklung eines Dehnungstransformators

Es wurden mehrere im BFI entwickelte Dehnungstransformatoren gemeinsam mit einem handelsüblichen auf einem Prüfkörper angebracht und in einer Zugmaschine im Laboratorium untersucht. Dabei erwies sich ein Typ für Meßzwecke als besonders geeignet. Er zeichnete sich durch eine große Empfindlichkeit sowie durch eine geringe Kraftaufnahme bei vorgegebener Streckung aus. Damit benötigt er nur ein geringes Anzugsmoment. Dieser Typ wurde für den Einsatz im Walzbetrieb umkonstruiert.

b) Spannungsoptische Untersuchung von Krafteinleitungssystemen

Durch eine federnde Ausführung der Zwischenplatten konnte eine gleichmäßige Spannungsverteilung im Meßelement erzielt werden. Die Untersuchung eines kreisförmigen PRESSDUKTORS zeigte, daß im Meßelement keine unzulässigen Spannungsspitzen infolge der Lagerrollen, die die Drehbewegung der Spindel vom Meßelement fernhalten sollen, auftreten.

CONVENTION N° 6210-52/2/021

TITRE

Mesures en sidérurgie (2ème programme)
- Mesure du transfert superficiel de chaleur (sonde métallique)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

La plupart des opérations métallurgiques sont accompagnées d'échanges calorifiques entre le métal et le milieu extérieur. Ces échanges calorifiques contrôlent dans une large mesure les vitesses de chauffage et de refroidissement du métal. Leur amplitude est particulièrement délicate à déterminer car les phénomènes de transmission de chaleur en surface sont très complexes et mal connus. Pour pallier cet inconvénient, nous avons mis au point une méthode de mesure d'un paramètre, le coefficient de transfert de chaleur, caractérisant le flux total passant à travers la surface d'un solide.

Les objectifs de la présente recherche concernent l'établissement des meilleures conditions de mesure, tant pour la partie expérimentale que pour le calcul numérique et l'adaptation de la méthode à l'étude de cas plus complexes tels que la coulée continue.

TRAVAUX EXECUTES

La méthode de détermination du coefficient de transfert de chaleur se compose de deux parties : une partie expérimentale, à savoir la mesure de la loi de chauffage ou de refroidissement d'une sonde et une partie numérique, c'est-à-dire le dépouillement des essais à l'ordinateur. Le calcul numérique ne posant plus de problème, nous nous sommes attachés à affiner les techniques expérimentales de manière à rendre la mesure aussi précise que possible.

Parmi les facteurs pris en considération, on peut citer :

- la composition du thermocouple;
- la localisation du thermocouple dans la sonde principalement lorsque la disposition sonde-installation de refroidissement n'est pas symétrique;

- l'état de surface de la sonde et son évolution au cours de trempes successives dans des agents refroidissants;
- la forme de la sonde dans le cas d'installation de refroidissement mettant en oeuvre des fluides en mouvement.

L'étude de certains points est en cours à l'heure actuelle.

Par ailleurs, nous avons adapté la méthode à l'étude du coefficient de transfert entre le métal et le moule dans une opération de coulée continue. Les résultats obtenus ont mis en évidence le ralentissement des échanges calorifiques imputable au décollement entre le métal et le moule. Ils nous ont permis de déterminer la loi de solidification du métal d'une manière semi-quantitative.

CONVENTION N° 6210-52/2/021

TITRE

Mesures en sidérurgie (2ème programme)
- Spectrochimie d'émission et d'absorption atomique (torche
plasma)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Diminution des effets interéléments et, par conséquent, du nombre d'échantillons étalons nécessaires en analyse spectrale des fontes et des aciers.

TRAVAUX EXECUTES

Nous avons modifié le statif d'étincelage d'un spectromètre U.V. en vue d'utiliser comme contre électrode un dard de torche plasma auquel une décharge à caractère d'étincelle est superposée.

Le but de ce montage est de fondre localement le métal et d'éliminer ainsi les effets dus à la structure du matériau. L'étincelle est destinée à exciter la vapeur métallique formée.

La reproductibilité des résultats obtenus avec un plasma "argon" n'est pas satisfaisante.

CONVENTION N° 6210-52/2/021

TITRE

Mesures en sidérurgie (2ème programme)
- Défauts du produit après skin-pass (procédés optiques)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Développement d'un équipement d'inspection automatique de la surface des tôles à froid au skin-pass; classification préliminaire des défauts.

TRAVAUX EXECUTES

A la suite des essais de laboratoire très concluants, Hoogovens a construit un équipement industriel prototype qui a été installé sur une ligne d'inspection.

Cet équipement a permis de détecter 8 types de défauts caractéristiques. La présence d'un défaut donné provoque l'éclairement d'une lampe témoin et l'inscription sur un enregistreur à 8 canaux. Les résultats ont été jugés très satisfaisants par le Service Contrôle de Qualité de l'usine.

Les performances doivent maintenant être améliorées de façon à rendre le système opérationnel à grande vitesse d'inspection.

CONVENTION N° 6210-52/2/021

TITRE

Mesures en sidérurgie (2ème programme)
- Effervescence des aciers (gerbe d'étincelles)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Lay

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Le but de cette recherche est de permettre une évaluation objective de la qualité de l'effervescence de l'acier en lingotière, par voie optique et par voie acoustique. La méthode acoustique fait actuellement l'objet de nos travaux; elle consiste à étudier le bruit émis par l'acier pendant la coulée et pendant le travail de l'effervescence et à vérifier si ce bruit est caractéristique de la qualité de l'acier.

TRAVAUX EXECUTES

Une première série d'enregistrements de bruit de coulée et d'effervescence a eu lieu au début de cette année au bassin de la S.A. COCKERILL à Chertal. Sa captation sonore était assurée par une sonde tubulaire refroidie à l'eau, contenant à son extrémité un micro électrostatique; cette sonde était placée horizontalement au-dessus de la lingotière.

L'analyse des enregistrements est basée sur l'étude des spectres du bruit émis à différents instants par chaque lingot testé et sur l'évolution, dans le temps, du bruit filtré sélectivement à un grand nombre de fréquences. Les conclusions essentielles se résument en trois points :

- 1) il existe un bruit d'effervescence discernable au point de vue fréquentiel, du bruit d'ambiance de l'usine;
- 2) ce bruit caractéristique apparaît dès le début de la coulée;
- 3) son spectre est très large puisqu'il s'étend de 1 KHz environ.

Ces résultats permettent d'envisager une évaluation de l'effervescence dès les premiers instants de la coulée. Cependant, la largeur du spectre à étudier exige un capteur acoustique de grande performance, présentant une courbe de réponse valable jusqu'à 40 KHz.

Des étalonnages en champ libre, effectués dans la chambre sourde de l'Université de Liège, ont montré que la courbe de réponse de la sonde utilisée lors de la première campagne, était fortement ondulante au-dessus de 5 KHz, et qu'elle variait avec l'angle d'incidence de l'onde acoustique et l'état d'encrassement des grilles de protection du micro.

Nous avons donc amélioré la chaîne de captation sonore dans le but d'enregistrer tout le bruit utile avec le maximum de fidélité et de sensibilité. La forme de la sonde microphonique a été modifiée de manière à obtenir une courbe de réponse mieux adaptée au spectre à étudier.

Cette nouvelle sonde s'étant montrée satisfaisante lors d'un étalonnage en chambre sourde, une seconde campagne d'essais a eu lieu au bassin de Chertal. Nous avons enregistré seize coulées d'acier effervescent et trois coulées d'acier calmé. Le travail en lingotière a été mesuré à l'aide du Rimmeter et nous avons noté les observations de l'opérateur du bassin pour chaque coulée.

CONVENTION N° 6210-52/2/021

TITRE

Mesures en sidérurgie (2ème programme)
- Mesure du profil transversal des bandes (ondes millimétriques)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Lay

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Il s'agit de fournir une valeur numérique caractérisant le profil transversal des bandes laminées dans un train continu à chaud. Cette valeur ou "indice de profil" doit être fournie pendant le laminage de la bande au moyen des modèles mathématiques établis par le Service Laminoirs du C.R.M. dans le cadre de la recherche relative à l'automatisation des trains continus à bandes. Celle-ci a montré que la mesure du profil des bandes peut être ramenée à la mesure du bombé d'un cylindre de travail pendant le temps mort qui s'écoule entre le passage des bandes. En définitive, la recherche a pour objet la mesure industrielle de l'indice de bombé, ramené à la largeur de la bande, c'est-à-dire la différence numérique entre la valeur du diamètre à mi-longueur du cylindre et celle mesurée à hauteur des rives des bandes.

TRAVAUX EXECUTES

a) Construction d'un capteur prototype

Dans un premier stade du travail, nous avons construit et installé un capteur de bombé au laminoir expérimental du Centre. Ce prototype nous a permis d'effectuer des essais préliminaires et de comparer les valeurs de mesure aux valeurs de bombé calculées d'après les modèles précités.

La comparaison montre qu'en début de campagne, les mesures et les calculs concordent, mais que, très rapidement, l'indice bombé tout en évoluant de façon qualitative en fonction des phénomènes à mesurer, subit une dérive dans le temps. Cette dérive provient de modifications de la forme des longerons dues à des perturbations thermiques.

b) Choix du transducteur de mesure de distance

Nous avons en outre effectué une campagne d'essais sur des cylindres industriels à SIDMAR dans le but de mesurer l'influence de la nature des cylindres sur la courbe de réponse (tension/distance) d'un transducteur inductif choisi parmi ceux qui sont utilisés dans le capteur bombé du laminoir expérimental. (Rappelons que l'indice de bombé d'un cylindre est la différence entre deux diamètres mesurés à l'aide de 4 transducteurs inductifs sans contact).

Les résultats ont été traités par le calculateur IBM 1130 du C.R.M.; on a pu établir les paramètres caractérisant l'équation de chaque courbe de réponse mesurée. Malheureusement, les paramètres de cette équation sont liés à la nature des cylindres du train. Au cas où on adopterait une courbe de réponse unique définie par la valeur optimale des paramètres de l'équation, l'imprécision serait de 30 micromètres.

Ceci nous amène, soit à trouver des transducteurs moins sensibles à la nature du cylindre, soit à tenir compte de la perméabilité magnétique et de la résistivité de chaque cylindre.

c) Influence de l'eau sur la courbe de réponse des transducteurs

Des essais spécifiques en laboratoire ont montré que l'eau n'influence pratiquement pas la réponse des transducteurs inductifs travaillant à la fréquence choisie.

d) Problèmes liés à la construction d'un capteur industriel de bombé

Rappelons que ce capteur doit, en principe, se composer de deux longerons rigides situés de part et d'autre du cylindre à mesurer; ces longerons porteront les transducteurs de mesure de distance. L'étude des problèmes technologiques fondamentaux suivants a été abordée :

Mode de mise en place des longerons

Dans le montage prototype du laminoir expérimental, nous avons mis les longerons en place le long du cylindre au moyen de vérins et de galets de roulement. A SIDMAR, les vitesses de laminage sont élevées et engendrent des vitesses angulaires de galets dangereuses sauf si le diamètre est choisi suffisamment grand. Compte tenu de l'encombrement restreint dans lequel doit être logé le capteur industriel, il n'est pas possible de monter des galets de grandes dimensions. De plus, les accélérations et décélérations des cylindres risquent d'occasionner l'usure rapide des galets.

Pour ces motifs, plusieurs constructeurs renommés ont renoncé à offrir une solution garantie. A la suite de ces difficultés, nous avons imaginé une solution consistant à supprimer le contact

entre longerons et cylindres, la mise en place ayant lieu à l'aide d'un système de vérins prenant appui sur les tôles de protection (raclettes), elles-mêmes en contact avec le cylindre par l'intermédiaire de joints industriels existants.

Stabilité dimensionnelle des longerons

On sait que la précision de la mesure de l'indice de bombé est liée à la stabilité de l'alignement des transducteurs sur les longerons. Cet impératif vient d'être mis en évidence lors du dépouillement de la dernière campagne d'essais effectués au laminoir expérimental du C.R.M.

CONVENTION N° 6210-52/2/021

TITRE

Mesures en sidérurgie (2ème programme)
- Mesure de la température du fil en cours de et après laminage
(Pyrométrie)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Examen comparatif de la validité des pyromètres actuellement sur le marché susceptibles de mesurer la température de fils en cours de laminage (problèmes : exiguité de la cible et déplacement du fil).

TRAVAUX EXECUTES

Au cours de l'exercice écoulé, nous avons procédé à un examen comparatif des caractéristiques des pyromètres à rayonnement offerts actuellement sur le marché pour la mesure de la température des fils. Une première conclusion concerne le principe de fonctionnement du pyromètre lui-même en vue d'obvier aux mouvements transversaux du fil en mouvement : chez certains constructeurs, la portion de fil mesurée est de petites dimensions par rapport au diamètre du fil; par contre, chez d'autres constructeurs, le champ angulaire de l'objectif est suffisamment grand pour que le fil demeure toujours à l'intérieur de l'angle de vision. Une autre conclusion est relative au choix de la gamme de longueurs d'onde; on retrouve ici les mêmes difficultés que dans la mesure de la température de tout corps métallurgique par rayonnement : ne connaissant pas les lois qui régissent l'émissivité des matières, notamment après oxydation, le choix de domaine de longueurs d'onde apparaît fort empirique.

Pour ces motifs, il nous paraît très important d'étudier de manière détaillée l'émissivité des fils en fonction de la longueur d'onde; cette étude devrait permettre de choisir scientifiquement une (ou plusieurs) longueur d'onde optimale. Le travail final consisterait à choisir un pyromètre de qualité et de le modifier en fonction des résultats de la mesure d'émissivité.

Pour effectuer cette mesure, nous avons poursuivi la mise au point de l'équipement périphérique du monochromateur utilisé également pour la recherche A22. Cet équipement a déjà été décrit antérieurement. L'activité se rapporte à la fin de la construction des circuits électroniques permettant de présenter automatiquement sur table traçante des diagrammes

$$E = f(\lambda).$$

CONVENTION N° 6210-52/2/021

TITRE

Mesures en sidérurgie (2ème programme)
- Carte thermique du gueulard - gaz et solides (télévision industrielle)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

La connaissance de la distribution thermique de la charge au gueulard, donc de la température des gaz permet un contrôle des échanges de chaleur entre les gaz chauds ascendants et la charge descendante et la détection des anomalies telles que la formation de cheminées ou d'accrochages des matériaux. La mesure du rayonnement de la charge à l'aide d'un détecteur infra-rouge peut être utilisée pour une meilleure répartition des matériaux chargés.

TRAVAUX EXECUTES

a) Etude du milieu à traverser

A la suite de l'étude théorique des bandes d'absorption du CO - CO₂ - H₂O, nous avons décidé de travailler dans une plage de longueurs d'onde étroite centrée sur 4 microns.

Pour cette plage de longueur d'onde, nous avons choisi d'utiliser à titre d'essai une caméra IR du type AGA thermovision 680, équipée d'un détecteur InSb (long. d'onde max. : 5,6 m). Cette caméra a permis de relever des isothermes sur la charge et de suivre leur évolution au fil du temps entre deux chargements.

Pour viser la charge, nous avons conçu et réalisé une sonde à fixer au blindage du haut fourneau, refroidie et protégée contre tout incident. Le hublot de visée est en saphir et peut résister à la température, à la pression ainsi qu'à l'abrasion par les poussières.

b) Etude des propriétés émissives de la charge

Avant d'adopter définitivement la plage de longueurs d'onde à 4 microns, il convient de vérifier que, pour cette longueur d'onde, les propriétés émissives des différents composants de la charge soient voisines. Un équipement de mesure a été mis au point à cette fin.

CONVENTION N° 6210-52/2/021

TITRE

Mesures en sidérurgie (2ème programme)
- Front de flammes de l'agglomération (rayonnement)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Etudier les relations entre le rayonnement du mélange à agglomérer à la sortie de la hotte d'allumage et les caractéristiques du mélange, d'une part, la qualité de l'aggloméré, d'autre part.

TRAVAUX EXECUTES

Au cours de l'année écoulée, nous avons débuté l'étude de ce problème. Le premier travail vise à choisir la méthode opérationnelle la mieux appropriée et l'endroit exact où la mesure aura lieu le long de la bande d'agglomération.

Au stade actuel de notre travail, il semble intéressant d'utiliser une caméra de télévision.

CONVENTION N° 6210-52/3/031

TITRE

Mesures en sidérurgie (2ème programme)
- Mesure de l'humidité de la chaux et des agglomérés
(ondes électromagnétiques)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Depuis le dépôt de la demande de subvention, les objectifs ont un peu évolué et on s'est orienté vers la mesure de l'humidité dans le mélange minéral à l'agglomération sur grille.

TRAVAUX EXECUTES

Les essais ont consisté à implanter un appareil à ondes centimétriques sur une bande de circulation de matières minérales (minerai, poussier de coke, fines maigres, mélanges) et à tester ainsi en dynamique ses réponses.

Les résultats obtenus sont à peine acceptables pour le minerai et le charbon mais impossibles à interpréter avec le coke.

CONVENTION No 6210-60/1/011

TITEL

Mesures en sidérurgie (3ème programme)
- Mesure du niveau dans les lingotières

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Es sollen der Füllstand und der Ablösevorgang des Stranges in einer Kokille mit Ultraschall gemessen werden, um Angaben für eine günstige Führung des Stranggußprozesses zu erhalten.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Die für Laborversuche gebaute Versuchskokille wurde weiterentwickelt, Sie kann durch eine Heizplatte erhitzt werden, um das eingefüllte Metall flüssig zu halten. An der Kokille können über gekühlte Vorlaufstrecken Ultraschallschwinger angebracht werden.

Bei den bisher durchgeführten Versuchen konnte nachgewiesen werden, daß sich der an der Grenzschicht Kokillenwand-Schmelze reflektierte Schallimpuls ändert, wenn die Schmelze erstarrt und sich von der Kokillenwand löst. Dagegen war ein Durchschallen unmöglich, was auf eine extrem starke Absorption zurückzuführen sein muß. Da bei diesen Versuchen durch Verzinnen der Kokillenwand für einen guten Schallübergang in die Schmelze gesorgt war, kann der beobachtete Effekt nicht durch Grenzschichtverluste erklärt werden. Bei Einsetzen der Erstarrung war ein Durchschallen möglich. Wegen der Verzinnung trat hier keine Ablösung von der Wand ein.

Bei weiteren Untersuchungen wurde die Reflexion von Schallimpulsen an Luftschichten zwischen zwei Festkörpern in Abhängigkeit von der Schallfrequenz untersucht. Hierbei zeigte sich, daß bereits kleinste Luftschichten von 10^{-3} mm genügen, um bei Frequenzen über 500 kHz eine Reflexion von über 99 % zu erhalten. Bei niedrigeren Frequenzen treten die Schallwellen nicht mehr hinreichend geradlinig durch eine Wand hindurch, weshalb Querwellen auftraten, die ein gleichzeitiges

Betreiben von mehreren Ultraschallschwingern unmöglich machen. Außerdem werden die Ausschwingzeiten der Schallgeber zu lang und die Echoamplituden weniger ausgeprägt.

Diese starke Reflexion an dünnsten Luftschichten erschwert den Einsatz an einer Kokille, da der Strang nie in einem vollständigen Kontakt mit der Kokillenwand stehen kann. Eine wesentliche Rolle für die Form der sich ergebenden Signale wird hier das Gleitmittel haben, das für ein verbessertes Abziehen des Stranges eingefüllt wird.

CONVENTION No 6210-60/1/011

TITEL

Mesures en sidérurgie (3ème programme)
- Mesure du diamètre du fil (électromagnétisme HF)

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Entwicklung eines Verfahrens zur kontinuierlichen Querschnittsmessung von heißem durchlaufenden Walzdraht im Durchmesserbereich von 5 bis 12 mm mit einer Fehlergrenze von $< \pm 1 \%$. Das Meßergebnis darf durch die folgenden Störgrößen nicht verfälscht werden: Oberflächenbeschaffenheit (Rauhigkeit, Risse); Form des Querschnitts; Schwankung der elektrischen Leitfähigkeit wegen unterschiedlicher Stahlzusammensetzung und Walztemperatur; Auslenkung des Drahtes aus der Mittellage innerhalb der Führungsrohre. Es soll eine Versuchsanlage entwickelt werden, die unter Betriebsbedingungen verwendet werden kann. Die in der Aufgabenstellung geforderte Auswahl des geeignetsten Verfahrens erfolgte bereits vor Vertragsbeginn. Es wird das Wirbelstromverfahren mittels Durchlaufspulen benutzt.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Mit einem Meßkopf für den Durchmesserbereich von 5 mm bis 7 mm waren 1971 erste Betriebserfahrungen gesammelt worden. Die Fehlergrenzen in den ermittelten Querschnitten sind wie gefordert kleiner $\pm 1 \%$.

Im Berichtsjahr 1972 wurde die Entwicklung des Versuchsgerätes für den Einsatz unter Betriebsbedingungen begonnen. Die Anlage besteht aus je einem Meßkopf vor und hinter der Fertigstaffel, zwei Frequenzzählern, einem Steuer- und Rechenwerk sowie der digitalen und analogen Meßwerterfassung.

Rechner und Steuerwerk regeln die alternierende Abfrage der beiden Meßstellen. Ein Meßzyklus beinhaltet: Dateneingabe der dem Querschnitt entsprechenden Oszillatorfrequenz; Umrechnung dieses Meß-

wertes in Querschnitts- bzw. Durchmesserwerte (mit Korrektur der Nullpunktsdrift, Wärmeausdehnung); Datenausgabe (digital und analog); Ansteuerung der Zähler und Multiplexer sowie der Registriergeräte; Kontrolle der Nullfrequenz zwischen zwei Coils.

Für das Steuerwerk wurde nach Aufstellung des logischen Flußdiagramms mit den Methoden der Schaltalgebra eine Schaltung aus integrierten Bausteinen entworfen und bis auf die Anpassung an den Rechner fertig verdrahtet. Die Überprüfung des Steuerwerks im Laboratorium konnte noch nicht vollständig abgeschlossen werden.

Weil vor der Fertigstaffel Querschnitte vorkommen, denen Kreisdurchmesser von 12 mm und mehr entsprechen, mußte ein zweiter Meßkopf für den Durchmesserbereich 8 mm bis 12 mm konstruiert und gebaut werden. Der gesamte Durchmesserbereich von 5 mm bis 12 mm läßt sich wegen der geforderten Fehlergrenze nicht mit einem Meßkopf erfassen (zu niedriger Füllfaktor für Durchmesser < 8 mm).

Die Auswirkungen der wesentlichen Störgrößen wie "Lage des Drahtes in der Spule" und "Nullpunktsdrift", verursacht durch den heißen Walzdraht, konnte nach anfänglichen Schwierigkeiten auch bei diesem Meßkopf über konstruktive Maßnahmen unter die Fehlergrenze von $\pm 1\%$ herabgesetzt werden.

Im Januar 1973 wurde ein solcher Meßkopf unabhängig von den restlichen Bestandteilen der Anlage mit einer einfachen diskontinuierlichen Auswerteeinheit über 14 Tage vor der Fertigstaffel erfolgreich erprobt. Störungen traten dabei nicht auf.

REF. E 1.3

CONVENTION No. 6210-60/1/011

TITEL

Mesures en sidérurgie (3ème programme)
- Détermination de la structure des aciers

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Gegenstand und Ziel sind die Gefügebeurteilung an Stählen mittels Ultraschall und die Entwicklung einer für die Praxis geeigneten Prüfmethode. Die US-Streuung ist von verschiedenen Gefügeparametern abhängig, wird aber im Gegensatz zur Ultraschallgeschwindigkeits- und Ultraschallschwächungsmessung in der Praxis noch nicht zur Prüfung herangezogen. Im Rahmen des Projektes wird deshalb versucht, eine geeignete Methode und Anlage zu entwickeln und zu bauen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Das o.a. Forschungsvorhaben wurde dem Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren der Fraunhofer-Gesellschaft am 9.6.1972 vom VDEh übertragen. Mit der Bearbeitung ist am 1.10.1972 begonnen worden. Es kann daher nur über einen Zeitraum von 3 Monaten berichtet werden.

Die relativ umfangreiche Literatur zur Theorie der Ultraschallstreuung (US) ist beschafft und z.T. ausgewertet worden. Danach zeichnen sich verschiedene Möglichkeiten ab, die auf ihre Verwendbarkeit hin untersucht werden sollen:

Neben der direkten Rückwärtsstreuung kann auch die Streuung unter verschiedenen Winkeln zur Schallausbreitungsrichtung gemessen werden.

Die Mehrfachsteuerung kann in vielen Fällen nicht vernachlässigt werden. Sie erfordert eine zusätzliche Laufzeit bzw. Abstandskorrektur und enthält darüber hinaus zusätzliche Aussagen über das streuende Gefüge.

Die Spektren gestreuter breitbandiger Impulse sind für eine Gefügeanalyse wegen ihres großen Informationsinhaltes besonders geeignet.

Wenig untersucht sind im Rahmen der Gefügeuntersuchungen mittels Ultraschallstreuung die Umwandlung von Longitudinal- in Transversalwellen oder umgekehrt sowie Änderungen der Polarisierung von Transversalwellen.

Die Theorie ist zu erweitern, was die Streuung an Proben mit beliebiger Korngrößenverteilung angeht. Dieses Problem wird oft erwähnt, ist aber nicht gelöst.

Das gleiche betrifft die Streuung verschiedenartiger Streukörper mit unterschiedlicher Größenverteilung (z.B. Körner und Sulfide in Automatenstähle).

Eine von J. Koppelman gebaute Apparatur zur Messung der Ultraschallrückstreuung steht uns seit Mitte Dezember 1972 zur Verfügung (Leihgabe der Fa. Röchling-Burbach, Völklingen). An ihr können erste orientierende Versuche durchgeführt werden. Das Konzept einer neuen Apparatur ist fertig. Einige Geräte z.B. ein schneller Analog-Digital-Converter sind schon angeschafft.

Aus einem vorangegangenen Forschungsvorhaben des VDEh zum gleichen Thema sind zur Zeit 12 Proben unterschiedlichen Gefüges vorhanden:

Ferrit plus Perlit,
Zwischenstufe,
Martensit.

Weitere Proben (z.B. reiner Ferrit, Austenit) sind uns zugesagt.

REF. E 1.3

CONVENTION No 6210-60/1/011

TITEL

Mesures en sidérurgie (3ème programme)

- Mesure de débit de métal liquide et solide (champ électromagnétique)

BEGÜNSTIGTE (R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Es soll der Durchsatz von flüssigem und festem Metall kontinuierlich so gemessen werden, daß diese Daten den Aufbau eines Regelkreises ermöglichen, mit dem der Durchsatz von Metallen (z.B. mit Hilfe einer elektromagnetischen Rinne) dosiert und geregelt werden kann.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Die von Shercliff entwickelte Wertigkeitsfunktion und die Effekte induzierter Wirbelströme auf die Messung werden untersucht, um zunächst theoretisch die Grenzen einer exakten Messung abzustecken.

Versuche mit ionisiertem Wasser und Quecksilber wurden durchgeführt. Diese bestätigen in guter Näherung die theoretischen Werte. Geschwindigkeiten von 0,2 bis 1,6 m/sec wurden in einem Plastikkanal (Innendurchmesser 8 mm) gemessen. Der wassergekühlte Elektromagnet mit einem Luftspalt von 11,2 mm und einer Polfläche von 12,5 cm² lieferte ein Feld mit einer Induktion von 6900 - 8300 Gauß, das mit einer geeichten Halbsonde ausgemessen wurde.

Es wurde eine Schaltung entwickelt, mit der die durch das Wechselfeld der Erregerspule induzierten Störspannungen kompensiert werden. Die übrigen Störspannungen können von dem Meßverstärker eliminiert werden, wenn ihm eine Referenzspannung, die die gleiche Phase wie die Speisespannung des Magneten hat und etwa 80 V beträgt, zugeführt wird.

Um Flüssigelektroden zu entwickeln und zu testen, wurde ein induktiv beheizter Tiegel konstruiert, in den zwei Flüssigelektroden von unten eingesetzt sind. Die Elektroden werden über Kühltassen mit einer Saugkühlung wassergekühlt. Die Anlage befindet sich noch im Bau. Der Übergang der flüssigen Phase in die feste kann mit einer Meßstange in der Elektrode lokalisiert werden. Um weitere Informationen über den Zustand der Elektroden und der Kontakte zu gewinnen, wird die elektrische Leitfähigkeit bestimmt, indem an die Elektroden eine Spannung gelegt und der elektrische Widerstand gemessen wird.

Ist der Widerstand der Rohrwand klein gegenüber dem Eingangswiderstand des Meßverstärkers, so kann man das Meßsignal sofort an der Rohrwand von außen abgreifen. Legt man eine Elektrodenfläche von $A = 3 \text{ cm}^2$, eine Dicke der Feuerfestschicht von 3 cm , einen spez. Widerstand des Feuerfestmaterials bei 1100°C von $10^4 \Omega \text{ cm}$ zugrunde, so ergibt sich ein Widerstand von $10^4 \Omega$. Da der Eingangswiderstand des Meßverstärkers $10^8 \Omega$ beträgt, kann es für Eisen möglich sein, das Signal direkt an der Rohrwand zu empfangen. Doch muß dies mit Hilfe der Flüssigelektroden vergleichsweise untersucht werden.

Neben den Untersuchungen zu dem zuvor beschriebenen Verfahren, das mit Kontakten arbeitet, wurden Vorarbeiten für ein berührungsfreies Meßverfahren durchgeführt. Hier wurde als Sender ein bistabiler Multivibrator verwendet, der von einem Nulldurchgangsschalter getriggert wird. Die Stromimpulse fließen durch die Sendespule und induzieren in einer rotierenden, leitenden Metallscheibe ein elektromagnetisches Feld, das in der Empfangsspule eine Spannung induziert.

Die Empfangsspannung wird verstärkt und auf einen Nulldurchgangsschalter gegeben. Dieser liefert bei jedem Nulldurchgang des Empfangssignals einen Triggerimpuls. Mit diesem Impuls wird der bistabile Multivibrator umgeschaltet. Die Umschaltfrequenz hängt von der Geschwindigkeit der Materie ab ($f \sim v$). Mit dieser Methode ist es grundsätzlich möglich, die Geschwindigkeit kontinuierlich zu messen.

REF. E 1.3

CONVENTION No 6210-60/1/011

TITEL

Mesures en sidérurgie (3ème programme)
- Mesure de la tension dans les tôles à froid

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Beim Kaltwalzen wird in zunehmendem Maße die Forderung erhoben, ein planes, d.h. wellenfreies Band zu walzen. Da das Band beim Walzen unter hohem Längszug steht, sind eventuell vorhandene Bandwelligkeiten nicht erkennbar. Sie können jedoch durch Messung der Welligkeit proportionalen Bandzugspannungsverteilung über der Bandbreite erfaßt werden.

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Erprobung der Betriebsausführung einer Umlenkrolle, mit der die örtliche Anpreßkraft des Bandes und damit die Bandzugverteilung bestimmt werden können.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Nach Durchführung der Detailkonstruktionen wurden im Berichtszeitraum zunächst drei einzelne Elemente der für den Betriebseinsatz bestimmten Meßeinrichtung gefertigt und für Vorversuche im Labor zu einer Meßrolle zusammengesetzt. Die Rolle konnte angetrieben und die einzelnen Elemente belastet werden. Die Kraftmesser wurden hinsichtlich Steifigkeit, Empfindlichkeit und Linearitätsfehler überprüft. Für die zur Abdichtung der Meßrolle erforderlichen Manschetten, die die einzelnen Laufringe miteinander verbinden, wurde eine geeignete Form und ein den gestellten Anforderungen entsprechender Werkstoff ermittelt.

Außerdem war die Ölmenge der Meßrolle festzulegen, für die sich bei ausreichender Schmierung möglichst geringe Planschverluste und eine geringe Erwärmung ergaben.

Bei den vorgenommenen Dauerversuchen stellte sich für eine Umfangsgeschwindigkeit von 800 m/min eine stationäre Temperatur von ca. 50° C ein.

Nach Fertigstellung der restlichen Bauteile für die Betriebsmeßeinrichtung wurden die Kraftmesser mit Dehnungsmeßstreifen versehen, diese mit temperatur- und ölbeständiger Isolation geschützt und die Einzelelemente zu einer 1200 mm breiten Meßrolle zusammengesetzt.

Außerdem wurden Vorrichtungen zum Schleifen und für den Einbau der Meßrolle im Walzgerüst konstruiert und gefertigt.

REF. E 1.3

CONVENTION N° 6210-60/2/021

TITRE

Mesures en sidérurgie (3ème programme)
- Nouveau développement de la spectrométrie

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Etude des possibilités offertes par les spectromètres à compteurs Si-Li pour les laboratoires sidérurgiques.

En principe, ces instruments multicanaux ont une souplesse beaucoup plus grande que les spectromètres classiques mais ils ont un pouvoir de résolution inférieur. Leur prix est beaucoup moins élevé.

TRAVAUX EXECUTES

Après sélection du matériel le plus approprié, nous avons commencé une étude systématique des conditions opératoires optimales pour l'analyse des aciers alliés. Cette étude comprend la recherche des effets interéléments et leur correction.

Une étude de l'analyse des scories LD a été également entreprise.

CONVENTION N° 6210-60/2/021

TITRE

Mesures en sidérurgie (3ème programme)

- Etude du frottement dans l'intercylindre au cours du laminage à froid

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Etude des conditions de frottement à l'interface cylindre-produit et de la variation de ces conditions en fonction des paramètres de laminage.

TRAVAUX EXECUTES

Après une étude bibliographique approfondie, deux méthodes d'investigation ont été choisies et étudiées en détail : la mesure in situ, d'une part, et l'utilisation d'un modèle mathématique de l'autre.

En ce qui concerne la mesure directe dans l'intercylindre, on a montré que le coefficient de frottement ne pouvait être déduit des mesures qu'en faisant intervenir un modèle de la déformation des cylindres. Par ailleurs, il est apparu que la mise au point du dispositif de mesure serait longue et délicate. On a donc préféré se limiter à des mesures macroscopiques simples en utilisant pour les calculs un modèle du laminage à froid, développé au C.R.M.

Les capteurs nécessaires à la mesure de la force, du couple, de la traction avant et arrière, des paramètres technologiques, température et débit du coolant, ainsi que de l'épaisseur du produit, ont été installés sur notre laminoir expérimental. Par ailleurs, le laminoir a été équipé d'une débobineuse et la régulation de l'ensemble a été modifiée en conséquence.

CONVENTION N° 6210-60/2/021

TITRE

Mesures en sidérurgie (3ème programme)
- Mesure continue des dimensions de profilés (électromagnétisme HF)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Mise au point d'un procédé de mesure des caractéristiques des profilés en cours du laminage à chaud (épaisseur d'âme et de semelle, excentricité d'âme, etc.).

TRAVAUX EXECUTES

L'enquête bibliographique et en usines nous a montré que la jauge à développer doit effectuer les mesures à la sortie de la cage finisseuse. A cet endroit, la barre est animée de mouvements relativement importants et désordonnés. Nous avons donc exclu au départ les méthodes exigeant le contact ou la proximité entre le capteur et la barre, pour n'étudier que les méthodes de mesure à distance par rayonnement. Parmi celles-ci, les méthodes à ondes centimétriques ne semblent pouvoir être retenues pour deux motifs :

d'une part, la nature du contour à mesurer et la précision demandée exigent que la zone visée par le télémètre soit très ponctuelle, ce qui ne permet pas de réaliser un faisceau d'ondes RF;

d'autre part, la mesure d'un grand nombre de points sur une poutrelle en mouvement rapide nécessite de la part du capteur une vitesse de réponse très élevée. Cette exigence est incompatible avec les temps de réponse qu'introduit la mesure de déphasages dans ces types de méthodes.

Nous nous sommes donc tournés vers des méthodes optiques. Les procédés habituels permettent difficilement de mesurer avec la précision demandée ($\pm 0,1$ mm) dans une gamme de mesure aussi étendue (profilés IPE et HE de 100 mm à 1 m de hauteur). Nous étudions une solution qui consiste à scruter, à l'aide d'un miroir tournant, l'intersection du profilé par un plan lumineux transversal. La principale difficulté est de réaliser un plan lumineux suffisamment étroit compatible avec la faible erreur de mesure permise.

REF. E 1.3

CONVENTION N° 6210-60/2/021

TITRE

Mesures en sidérurgie (3ème programme)
- Etude expérimentale de l'analyse en spectrométrie d'absorption atomique

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Augmentation de la sensibilité et extension du champ d'application de la spectrométrie d'absorption atomique par le développement de nouvelles sources (lampes sans électrodes).

TRAVAUX EXECUTES

Nous avons tout d'abord construit un premier appareillage pour fabriquer des lampes sans électrode. Celles-ci sont constituées d'une ampoule en quartz contenant soit un halogénure métallique, soit le métal plus l'halogène. Cette lampe contient également un gaz inerte sous faible pression. Nous avons pu mettre au point des conditions de préparation telles que les lampes fournissent une intensité très importante. Néanmoins, leur durée de vie est encore trop faible. D'après nos investigations, il semblerait que la présence d'oxygène résiduel soit la cause de ce phénomène.

CONVENTION N° 6210-60/2/021

TITRE

Mesures en sidérurgie (3ème programme)
- Dosage rapide par activation de l'O₂ dans les produits autres
que les alliages

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Le but de cette recherche est double :

- 1) Dosage de l'oxygène total lié en vue de déterminer si la teneur calculée à partir des concentrations en Fe, Si, Ca, ... correspond bien à la teneur réelle.
- 2) Dosage de l'oxygène occlus dans les scories liquides (et par extension dosage de l'azote et de l'hydrogène) en vue de préciser certaines pertes dans le bilan oxygène de la conversion.

TRAVAUX EXECUTES

Tout d'abord, nous avons mis au point une méthode précise de dosage par activation eutronique de l'oxygène total lié dans les scories LD.

De nombreuses mesures ont montré que la teneur en oxygène total mesurée était très proche de celle qui est calculée à partir de l'analyse des éléments Fe, Ca, Si, ... de l'échantillon.

Par ailleurs, nous avons mis au point une méthode de dosage des gaz occlus dans la scorie liquide.

Nos essais nous ont amenés à distinguer les gaz libérés au cours du refroidissement de ceux occlus dans la scorie refroidie.

Une première campagne d'essais en usine nous a fourni les chiffres suivants pour les gaz libérés au cours du refroidissement.

	Hydrogène	Azote	Oxygène
Moyenne	31	22	tous les résultats
Minimum	14	0,5	sont inférieurs
Maximum	100	63	à 0,5

Résultats exprimés en dm³/T de scorie.

CONVENTION N° 6210-60/3/031

TITRE

Mesures en sidérurgie (3ème programme)
- Etude de l'examen non-destructif des pièces par courant de Foucault (électromagnétisme HF)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Détection des défauts de surface dans les produits longs (par exemple les fils) en cours de laminage (donc éventuellement à chaud). Elimination des paramètres perturbateurs qui interviennent lors d'un tel contrôle.

TRAVAUX EXECUTES

En 1972 les essais ont porté sur la détection de défauts artificiels. Les barreaux d'essais avaient un diamètre de 14 mm et une longueur de 600 mm. Les défauts étaient de petites rainures longitudinales de 0,1 mm de large et 0,4 à 0,8 mm de profondeur pour une longueur de 10 à 15 mm.

L'appareil de traitement de la tension de sortie du capteur, précédemment mis au point (enregistrement des variations de la tension de sortie en amplitude et phase dans le domaine 5 kHz - 100 kHz) a été utilisé.

Deux types de capteurs ont été étudiés.

Tout d'abord, un capteur classique à 2 bobines montées dans un pont, a été utilisé avec des barreaux de Stub soumis à un champ continu de 80.000 At/m pour éliminer au maximum les variations de perméabilité. Les trois paramètres pris en compte étaient les défauts, les excentrations (vibrations) et les variations de diamètre. Les deux fréquences utilisées étaient 5 kHz et 10 kHz ou 7,5 kHz et 15 kHz. Nous avons montré qu'un défaut de 0,5 mm de profondeur pouvait être discriminé d'une combinaison quelconque des deux autres paramètres (variation maximum sur le diamètre 0,2 mm et sur l'excentration 1,5 mm).

L'inconvénient principal du capteur en pont étant la difficulté de voir les défauts longs, un nouveau capteur ne comprenant qu'une seule bobine a été étudié. La bobine étant alimentée à courant constant, la variation de tension à ses bornes est représentative de sa variation d'impédance.

Ce capteur a été utilisé avec des barreaux d'acier réfractaire non ferromagnétique et dont la grande résistivité permet de simuler à froid des aciers ordinaires à chaud. Un premier point important est qu'une variation de diamètre ne se distingue pas nettement en phase du défaut artificiel. Les paramètres pris en compte ont été : le défaut, une variation de température (ambiante / 50°C), une excentration (vibrations). Le couple de fréquence 25 kHz/75 kHz permet de séparer un défaut de 0,5 mm de profondeur d'une combinaison quelconque des paramètres précédents.

CONVENTION N° 6210-60/3/031

TITRE

Mesures en sidérurgie (3ème programme)
- Contrôle ultrasonore à chaud des demi-produits

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Lay
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Mise au point industrielle d'un procédé de sondage ultrasonore des produits sidérurgiques à haute température.

TRAVAUX EXECUTES

- Etude et réalisation d'une installation prototype industrielle en vue du sondage de brames avant cisailage à chaud.
- Essais sur cette installation - Les premiers résultats obtenus sont encourageants mais montrent que la sûreté de la détection des retassures par ce procédé n'est pas totalement assurée; cela est dû en particulier à des défauts de couplage ultrasonore dont la principale cause semble liée à la qualité de l'état de surface des brames.
- Essais de sondage de brames de coulée continue à l'aide d'une installation provisoire. Les premiers résultats sont encourageants mais indiquent que la recherche de petits défauts est gênée par des échos ultrasonores nombreux dus à la structure grossière de l'acier brut de coulée.

CONVENTION N° 6210-69/2/201

TITRE

Détermination du coefficient de transfert de chaleur dans différentes opérations métallurgiques

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

OBJECTIF

Les vitesses de chauffage et de refroidissement des matériaux métalliques traités thermiquement sont étroitement liées à l'"efficacité" de l'installation de traitement. Cette efficacité est caractérisée par la valeur du coefficient de transfert de chaleur qui définit la cinétique des échanges calorifiques entre le métal et le milieu extérieur. Les objectifs de la recherche peuvent être résumés de la manière suivante :

- mesurer les coefficients de transfert de chaleur pour différents modes de chauffage et de refroidissement;
- mettre en évidence l'influence de réglages éventuels;
- calculer les vitesses de refroidissement et gradients thermiques présents au sein des pièces métalliques lors de leur traitement.

TRAVAUX EXECUTES

Nous avons poursuivi les déterminations de coefficients de transfert de chaleur dans différentes installations de laboratoire. Les types de refroidissement étudiés font intervenir l'eau comme agent refroidissant essentiel. Il s'agit de :

- trempes par immersion dans des solutions aqueuses diluées à différentes températures;
- trempes à l'eau sous pression;
- trempes au brouillard;
- trempes par ruissellement d'eau à la surface du métal.

Nous avons évalué les possibilités de régulation de la vitesse de refroidissement offertes par chacun de ces traitements. En particulier, nous avons montré l'influence exercée par des facteurs tels que : le volume du bain dans le cas d'une trempe par

immersion, la pression de l'air et le débit d'eau lors d'une trempe au brouillard, le débit et la pression de l'eau sur un refroidissement par ruissellement.

Enfin, nous avons utilisé les valeurs des coefficients de transfert mesurées pour calculer les vitesses de chauffage et de refroidissement de pièces de forme simple et dont une ou plusieurs dimensions présentent une valeur finie.

REF. E 2.1

CONVENTION N° 6210-37/3/031

TITRE

Gammagraphie

- Extension des possibilités industrielles de sondage gammagraphique à des produits de forte épaisseur pour déceler le creux de tête des blooms des aciers de masse

BENEFICIAIRE(S)

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

OBJECTIF

- Extension du sondage gammascopique au sondage des blooms ayant des épaisseurs comprises entre 220 et 300 mm.
- Etude des enregistrements obtenus sur une installation industrielle et mise en parallèle des observations faites avec les observations basées sur d'autres critères (essais destructifs). Etude de l'influence du taux de corroyage des blooms sur la réponse du sondage gammascopique.

TRAVAUX EXECUTES

Examen de produits en acier effervescent avec des taux de corroyage allant de 5,1 à 11,5 pour des épaisseurs allant de 300 mm à 210 mm. Recherche d'un mode de caractérisation des courbes enregistrées pendant le sondage. Essai de classement de ces courbes en plusieurs familles. Recherche de corrélation entre l'allure des courbes et l'aspect des défauts réels.

Les courbes ont pu être classées en quatre familles-types. On a constaté que le taux de corroyage n'avait pas d'influence sur ce classement. Ce facteur est cependant le plus important dans l'examen gammascopique car les longueurs de défauts détectés par l'installation pour un seuil de réglage donné, augmentent lorsque le taux de corroyage diminue. Une autre constatation importante est que la grande dispersion des longueurs de défauts détectés est liée à la dispersion des résultats de coulée et donc aux variations de l'effervescence de chaque coulée.

On a mis en évidence par ailleurs une corrélation étroite entre les points singuliers des courbes gammascopiques et les défauts réels; les défauts les plus fréquemment rencontrés se présentent

sous forme de porosités apparemment non oxydées; que dans ces conditions, il n'était pas souhaitable d'automatiser complètement la détection de la retassure primaire mais qu'il était plus prudent, surtout pour les produits faiblement corroyés, de laisser l'opérateur interpréter chaque courbe enregistrée.

REF. E 2.2

CONVENTION N° 6210-37/4/041

TITRE

Détection de défauts de petite taille (aciers de qualité)
Mise au point d'une installation prototype et détermination de ces performances

BENEFICIAIRE(S)

FIAT Ferriere - Torino

OBJECTIF

Realizzazione e messa a punto di un impianto prototipo per il controllo continuo con raggi gamma di sbozzati di acciaio a caldo e determinazione delle sue prestazioni in funzione delle caratteristiche dei blumi.

TRAVAUX EXECUTES

Nel corso del 1972 sono state effettuate le prove di sperimentazione metallurgica.

I risultati di dette prove sono stati illustrati nel corso di una riunione CECA tenutasi a Parigi il 14.3.1973.

L'esperimentazione è risultata positiva sugli slebi di acciaio inox 304, mentre sugli acciai effervescenti, pur essendo individuabile correttamente la polmonatura, non è utilizzabile la maggior resa causa la presenza dell'accentuata segregazione che segue il cono di ritiro, difetto non accettabile per la qualità che si esige dal prodotto FIAT.

CONVENTION No 6210-17/2/033

TITEL

Méthodes de prélèvement, d'extraction et de dosage des gaz dans les aciers et les fontes (2ème programme)

BEGÜNSTIGTE(R)

Max-Planck-Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

entfällt

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

- a) Direkte Messung des Sauerstoffgehalts in flüssigem Eisen mit Festelektrolytzellen

Die elektrochemische Methode hat gegenüber anderen Verfahren der Sauerstoffanalyse den Vorteil, daß eine Messung des Sauerstoffgehalts unmittelbar in schmelzflüssigen Metallen vorgenommen werden kann. In das flüssige Metall taucht ein einseitig geschlossenes Rohr aus dem Elektrolyten CaO-dotiertes Zirkonoxid. Die Referenzelektrode bildet ein am Boden des Rohres eingesinterter Edelmetalldraht, der von Luft umspült wird. Schließt man diese Elektrode über ein hochohmiges Voltmeter mit der Metallschmelze kurz, so wird eine Spannung gemessen, die dem Logarithmus der Sauerstoffaktivität in der Schmelze proportional ist. Ein Auftragen der Zellspannungen gegen die Sauerstoffgehalte, die in Saugproben nach dem Trägergasverfahren bestimmt wurden, ergibt die Eichgerade für die Meßzelle. Enthalten Metallschmelzen Legierungselemente, so ist eine Korrektur der gemessenen Zellspannung notwendig. Die Wirkungskoeffizienten der wichtigsten Legierungselemente des Eisens bei 1600°C wurden durch EMK-Messungen und Sauerstoffbestimmungen nach dem Trägerverfahren ermittelt.

- b) Stickstoffbestimmungen in Legierungen mit hohen Mangan-Gehalten

Die Ermittlung der Stickstoffgehalte von Stählen erfolgt heute vielfach durch Aufschmelzen der Probe im Einweg-Kohlteigel. Der freiwerdende Stickstoff wird dann durch Wärmeleitfähigkeitsmessung

bestimmt. Untersuchungen an Legierungen mit hohen Mangan-Gehalten führten zu dem Ergebnis, daß nach dem Aufschmelzverfahren geringere Stickstoffgehalte gemessen wurden als nach dem Indophenolblauverfahren. Wahrscheinlich sind die Minderbefunde, die man beim Aufschmelzen im Einweg-Kohletiegel erhält, auf die gleichen Ursachen zurückzuführen, welche die Störungen der Sauerstoffanalyse in Stählen mit hohen Mangan-Gehalten nach dem Trägergasverfahren bedingen.

c) Ausscheidungsgeschwindigkeit von Cer-Nitrid

Anschließend an die früheren Arbeiten über die Ausscheidung von Niob- und Aluminium-Nitrid wurden Untersuchungen über die Ausscheidungsgeschwindigkeit von Cer-Nitrid durchgeführt. Aus einer Reineisenlegierung mit 0,08 % Cer und 0,002 % Stickstoff wurden Proben gefertigt und diese 45 min bei 1300°C lösungsgeglüht. Danach wurden die Proben in Salzbadern abgestufte Zeiten bei verschiedenen Temperaturen angelassen. In feinen Drehspänen wurde der gelöste Stickstoffanteil bei 400°C nach dem Wasserstoffreduktionsverfahren ermittelt. Aus den Untersuchungsergebnissen folgt, daß die Ausscheidung von Cer-Nitrid wesentlich schneller geschieht als die Ausscheidung von Aluminium- und Niob-Nitrid.

CONVENTION N° 6210-17/2/003

TITRE

Méthodes de prélèvement, d'extraction et de dosage des gaz dans les aciers et les fontes (2ème programme)

BENEFICIAIRE(S)

Max Planck Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

- 1) Mise au point d'une méthode de dosage spécifique des nitrures dans les aciers.
- 2) Mesure de l'azote interstitiel dans les alliages à base de fer par la méthode du frottement intérieur.
- 3) Dosage de l'oxygène dans les aciers fortement calmés à l'aluminium.
- 4) Dosage de l'oxygène dans des aciers contenant d'importantes quantités de soufre.
- 5) Exploitation conjuguée de différentes méthodes de dosage de l'oxygène dans l'acier liquide.

TRAVAUX EXECUTES

- 1) Le C.R.M. a élaboré des alliages à bas carbone et à haute teneur en azote contenant de l'aluminium, du niobium, du vanadium et du titane.
Ces alliages ainsi que certains aciers de construction ont été soumis à des dissolutions anodiques ainsi qu'à des dissolutions Beeghly. Les résidus ont été examinés par diffraction X en utilisant des méthodes de préparation différentes. On peut identifier de façon certaine le ZrN, AlN et TiN. Par contre, le VN ne peut être identifié. Dans le cas d'alliages contenant du carbone, la séparation entre nitrures, carbonitrures et carbures est très délicate.

- 2) Au cours de l'année 1972, nous avons poursuivi le relevé systématique du pic de Snoek sur un certain nombre d'aciers, avec l'intention de confronter les résultats obtenus en frottement intérieur et des dosages de l'azote mobile par voie chimique. Ces relevés ont mis en évidence 5 pics élémentaires correspondant à 8°C, 32°C, 40°C, 50°C et 64°C, ces températures étant valables pour une fréquence de 1 Hz. Le pic à 40°C correspond au carbone interstitiel et les 4 autres pics à l'azote interstitiel. Ces 4 derniers pics sont distincts des pics observés dans les alliages fer-manganèse-azote.

Indépendamment de cette étude, nous avons procédé à l'étude théorique, à l'ordinateur, de la mobilité de l'azote interstitiel dans l'alliage Fe-V-N.

- 3) Nous avons effectué de nombreux essais sur des aciers fortement calmés à l'aluminium par fusion réductrice sous argon. Une addition de Ni-Ce conduit à des résultats plus élevés et moins dispersés qu'en absence de fondant. Sa manière de procéder a une influence sur le résultat.
- 4) Nous avons effectué des essais comparatifs avec notre appareil à deux températures (détection du CO par infrarouge) et avec un appareil à conductibilité thermique après transformation du CO et CO₂. Nous avons constaté que l'interférence du soufre est beaucoup plus marquée avec ce dernier appareil.
- 5) Des comparaisons ont été effectuées entre, d'une part, les procédés de dosage de l'oxygène sur échantillons prélevés par différentes techniques et, d'autre part, le procédé de détermination de l'activité en oxygène dissous par mesure de la f.e.m.

CONVENTION N° 6210-17/2/003

TITRE

Méthodes de prélèvement, d'extraction et de dosage des gaz dans les aciers et les fontes (2ème programme)

BENEFICIAIRE(S)

Max Planck Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Le but de la recherche est d'accroître nos connaissances dans le domaine de l'analyse des gaz : azote, oxygène et hydrogène pour les aciers et les fontes et de normaliser les méthodes de prélèvement et d'analyse les mieux adaptées.

Les normes qui seront établies et recommandées par la Commission fixeront le principe des appareillages, leurs domaines d'emploi de façon à rendre comparables les résultats des études.

TRAVAUX EXECUTES

Les travaux exécutés à l'IRSID portent sur l'oxygène, l'azote et l'hydrogène.

1. Oxygène

. Aciers calmés à l'aluminium. Le Groupe de Travail chargé de l'étude du dosage de l'oxygène dans les aciers calmés à l'aluminium a atteint l'objectif qu'il s'était fixé lors de sa constitution en juin 1966. En effet, les divergences entre les résultats obtenus par les différents laboratoires mirent en évidence l'influence de certains facteurs tels que la nature des échantillons, les méthodes d'analyse et leur mise en oeuvre. De plus, l'absence d'étalons ou d'échantillons-types rendait les confrontations difficiles, empêchait de déterminer les différentes sources d'erreurs.

En février dernier, l'IRSID a présenté au Groupe de travail le dépouillement statistique des comparaisons de résultats de dosages d'oxygène obtenus par Activation et par Fusion carburante

dans des prélèvements d'acier liquide, calmés à l'aluminium. Les dosages ont été faits par 4 laboratoires utilisant les procédés de fusion et par 3 laboratoires utilisant les procédés de fusion et par 3 laboratoires utilisant l'activation. Les conclusions sont les suivantes :

- pour l'ensemble des échantillons considérés, les quatre procédés de fusion ne présentent pas entre eux de différences systématiques,
- pour des teneurs supérieures à 300 ppm, les échantillons prélevés en louche sont plus hétérogènes que les échantillons prélevés en bombe,
- pour les échantillons prélevés en bombe, la dispersion entre deux dosages d'un laboratoire croît avec la teneur,
- dans le domaine des teneurs en oxygène inférieures à 700 ppm, les valeurs moyennes obtenues par activation sont supérieures de 5 % à celles obtenues par fusion.

L'étude antérieure avait montré que dans le cas d'échantillons ne contenant pas d'aluminium de calmage, les valeurs moyennes obtenues par activation et par fusion n'étaient pas différentes. Ceci semble montrer que l'oxygène lié à l'aluminium n'est pas totalement réduit.

L'ensemble des travaux du Groupe de Travail est actuellement l'objet d'un rapport final et d'une publication dans les revues spécialisées.

. Aciers contenant du soufre et du manganèse. Les procédés classiques de fusion carburante ne sont pas directement applicables au dosage de l'oxygène dans les aciers contenant plus de 0,050 % de soufre en raison de la formation de composés sulfurés tels que le sulfure de carbone et l'oxysulfure de carbone qui apparaissent simultanément lors de la fusion réductrice de l'échantillon et qui faussent la mesure.

Les résultats obtenus avec quelques nuances à l'aide de la Fusion ou par Activation ont montré que pour une teneur en soufre de 0,3 %, l'erreur pouvait atteindre 50 % au niveau de 140 ppm d'oxygène.

Cependant, les valeurs obtenues par activation neutronique servent de référence et permettront de définir les conditions opératoires des procédés de fusion et leurs limites d'application suivant les teneurs en soufre et en manganèse des aciers.

2. Azote

Les analyses de comparaison faites par différents laboratoires ont mis en évidence les difficultés rencontrées pour le dosage de l'azote total dans les aciers plus particulièrement aux teneurs inférieures à 50 ppm.

L'IRSID a organisé un circuit international avec 30 laboratoires des pays de la Communauté, en vue de doser l'azote dans un acier non allié, en utilisant des copeaux préparés suivant le procédé de fabrication des échantillons-types.

L'ensemble des 250 résultats obtenus par les procédés de Fusion carburante, Fusion oxydante et chimie humide conduit à une valeur moyenne de 14 ppm, l'écart-type interlaboratoire étant 2,9 ppm pour 28 groupes de mesures.

Pour réduire les écarts entre laboratoires, il est nécessaire de définir d'une façon très précise les conditions d'application des méthodes. Actuellement, on ne peut pas encore déterminer, avec une fiabilité suffisante, la teneur la plus probable, au niveau de 20 ppm, d'un échantillon-type d'acier pour sa teneur en azote.

3. Hydrogène

. Hydrogène dans les aciers. Les possibilités offertes par les nouvelles méthodes de dosage rapide de l'hydrogène nécessitent de reconsidérer les recommandations internationales établies, il y a une dizaine d'années, dans le cadre d'une précédente convention; elles concernent le prélèvement et le dosage. Les essais réalisés en 1972 montrent que les prélèvements en tubes prévus fournissant des échantillons de 8 mm de diamètre, sont utilisables et fournissent des résultats comparables à ceux obtenus par le prélèvement ancien normalisé (diamètre 12 mm). Toutefois, l'application de ce procédé nécessite une adaptation suivant différents facteurs : nature du métal prélevé, température, moyen d'accès au métal liquide. De nombreux essais en usine ont été faits.

. Hydrogène dans les ferro-alliages. Un Groupe de Travail étudie les possibilités du dosage de l'hydrogène dans les ferro-alliages. Des essais préliminaires ont pour but d'examiner les possibilités offertes par les méthodes classiques de dosage ainsi que par les méthodes rapides de fusion.

CONVENTION N° 6210-78/2/021

TITRE

Prélèvement de fonte et d'acier liquides et sa mécanisation

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

OBJECTIF

Rendre les opérations de prélèvement d'acier en convertisseur rabattu et de refroidissement des échantillons, indépendantes des facteurs humains, en mécanisant et en automatisant ces opérations.

TRAVAUX EXECUTES

Il était initialement prévu de procéder d'abord à des comparaisons entre les techniques de prélèvement ne comportant aucun transvasement et de mettre ensuite au point la mécanisation des opérations de prélèvement suivant la technique qui sera apparue comme la plus valable. Nous avons effectué des essais comparatifs mettant en jeu des louches (Prél. type AI) et différents types de sondes en tubes de carton (Prél. type AII et type AIII). Ces essais ont montré que ce dernier type de prélèvement fournit en cornue rabattue un pourcentage d'échantillons réussis (*) nettement plus faible que les autres techniques précitées. Ces essais

(*) Nous avons défini de la manière suivante trois critères de réussite. Sur X opérations de prélèvement, on obtient y échantillons qui après démoulage paraissent utilisables (examen visuel à l'aciérie). Après la préparation en vue de l'analyse spectrale, un certain nombre de ces y échantillons sont rejetés à cause de fissures, inclusions ou autres défauts importants non visibles avant la préparation. z échantillons sont à ce stade considérés comme valables et soumis à l'analyse. Celle-ci ne conduit à des résultats acceptables (1) que pour w échantillons.

% réussite aciérie $\frac{y}{x} \cdot 100$

% réussite préparation $\frac{z}{x} \cdot 100$

% réussite analyse $\frac{w}{x} \cdot 100$

comparatifs ont été effectués dans plusieurs aciéries, ce qui a fait apparaître à nouveau l'interférence de facteurs humains dont l'élimination est l'objet même de la recherche. Plus précisément, une usine A trouve des pourcentages de réussite plus favorables avec une technique 1 qu'avec une technique 2 alors qu'une usine B trouve l'inverse.

Il apparaît qu'une usine trouve généralement de meilleurs résultats lorsqu'elle utilise une technique qui lui est familière et que dans une même usine les pourcentages de réussite dépendent des opérateurs.

Pour sortir du cercle vicieux, il était donc nécessaire d'entrer immédiatement dans la voie de la mécanisation, avant même de pouvoir fixer le type de dispositif de prélèvement le plus adéquat.

Ce choix était d'ailleurs d'autant plus difficile que les fabricants de sondes à immersion poursuivaient leurs mises au point et modifiaient leurs modèles plusieurs fois par an.

Au cours du second semestre 1972, nous avons conçu et réalisé un chariot de prélèvement en cornue rabattue. Poussé en position adéquate par l'opérateur, ce chariot effectue à partir d'une impulsion de départ la séquence continue d'opérations : immersion de la sonde de prélèvement, maintien en position immergée pendant x secondes et émergence de la sonde. Un dispositif de préréglage de la profondeur d'immersion a été imaginé. Sa mise au point est en bonne voie mais il reste certains problèmes à résoudre.

(1) Deux critères d'acceptation sont généralement utilisés; l'un est lié à la durée d'intégration, l'autre à la dispersion des résultats sur 2 ou 3 impacts. Suivant les laboratoires, ces critères d'acceptation sont plus ou moins sévères.

PROPRIETES D'EMPLOI DES ACIERS
VERWENDUNGSEIGENSCHAFTEN DER STÄHLE
SERVICE PROPERTIES OF STEELS

CONVENTION No 6210-25/070

TITEL

Korrosion - ID (1. Programm - Gebrauchseigenschaften der Stähle)

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

- ID-1 Gemeinschaftsprogramm. Naturrostversuche an Baustählen auf verschiedenen Stationen Westeuropas.
- ID-2 Laborversuche zur atomosphärischen Korrosion von unlegierten und niedriglegierten Stählen. Abhängigkeiten von relativer Feuchtigkeit, Sauerstoffdruck, Temperatur und Zugabe von Schwefeldioxyd.
- ID-3 Einfluß der Sauerstoffnachlieferung auf die Korrosionsgeschwindigkeit weicher Stähle in verschiedenen Elektrolyten.
- ID-4 Empfindlichkeit verzinkter Spannstähle gegen Sprödbbruch infolge einer Wasserstoffbeladung beim Einbetonieren.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

- ID-1 Das 1964 aufgestellte Gemeinschaftsprogramm beinhaltet die Ermittlung der Korrosionsbeständigkeit von St 37 (aus Frankreich), St 42 (aus Holland) und St 52 (aus Deutschland) in Luft durch Langzeitversuche in 19 Auslagerungsstationen der verschiedenen Länder. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Witterungsbedingungen sollte eine Koordinierung und Vereinheitlichung der Ermittlungsverfahren aussagekräftigere Ergebnisse bringen. Die klimatischen Bedingungen der einzelnen Stationen wurden mit Hilfe der meteorologischen Aufzeichnungen der staatlichen Stellen in den einzelnen Ländern für die jeweilige Umgebung der Stationen ermittelt. An einzelnen Stationen wurden die Sulfat- und Chloridgehalte des Rostes und des von den Proben abgetropften Niederschlages sowie die SO_2 -Gehalte der Luft ermittelt. Die sich bei ähnlichen Witterungsbedingungen der Stationen zum Teil stark unterscheidenden Abrostungen konnten so auf verschieden starke Luftverunreinigungen zurückgeführt werden.

ID-2 Mit der gasvolumetrischen Meßanordnung konnten die Abrostungen der Stahlproben durch den Verbrauch von Sauerstoff laufend verfolgt werden. Wägungen von Proben, deren Rostschichten nach den Versuchen abgeätzt wurden, bestätigten, daß nahezu allein mit dreiwertigem Eisen gerechnet werden kann. In reinen Sauerstoff-Wasserdampf-Gemischen rosteten die Proben unlegierter Stähle erst bei sichtbarer Anfeuchtung, wobei letztere durch eine Kühlung hohlzylindrischer Proben erreicht wurde. Nach Zugaben kleiner Mengen SO_2 lagen die Rostgeschwindigkeiten auch ohne Anfeuchtung der Proben erheblich höher. Nach einmaligen Zugaben wurden zeitlich stark abfallende, bei täglichen Zugaben annähernd konstante Korrosionsgeschwindigkeiten beobachtet.

Versuche mit unterschiedlichen Sauerstoffdrucken ergaben sowohl für Sauerstoff und Wasserstoff wie für Luft und Wasserdampf keine lineare Abhängigkeit sondern etwa Proportionalität zu $p_{\text{O}_2}^\alpha$ mit $\alpha \leq 0,5$.

Sichtbar angefeuchtete Proben rosteten bei täglichen Zugaben von SO_2 deutlich langsamer. Höchstwerte der Rostgeschwindigkeiten traten bei langsamer Trocknung auf. Nur bei Versuchen mit täglichem Anfeuchten und Trocknen rosteten Proben aus einem rostträgen Stahl erheblich langsamer als Proben aus Reineisen oder einem kupferarmen Stahl.

ID-3 Versuche zur Sauerstoffkorrosion von unlegierten Stählen wurden vorwiegend mit rotierenden Scheibenelektroden durchgeführt. Die durch den Antransport des Sauerstoffs bedingten Grenzströme wurden an kathodisch polarisierten Proben gemessen. Dabei ergab sich eine gute Übereinstimmung mit den theoretisch zu erwartenden Werten. Entsprechend hohe Korrosionsgeschwindigkeiten (ohne Potentialvorgabe) wurden bei 20°C nur in angesäuerten Lösungen erreicht. In einer neutralen Zitratlösung, in der sich auch keine Rostschichten bilden, galt das erst bei rd. 60°C . In neutralen Sulfat- und Chloridlösungen hemmen außerdem die Rostschichten. In Meerwasser ist diese Hemmung deutlicher ausgeprägt, noch stärker in hinreichend harten Leitungswässern. In einer stark verdünnten Sulfatlösung mit einer Karbonathärte um 10 wurde bei starker Rührung ein starker Potentialanstieg und ein Stillstand der Korrosion beobachtet.

ID-4 Die Untersuchungen wurden an vergüteten oder patentiert gezogenen Zugproben eines technischen Spannstahles durchgeführt. Die Proben wurden in frisch einbetoniertem Zustand oder in einem wäßrigen Zementauszug mechanisch belastet. Sie waren verzinkt, standen im Kontakt mit Zink oder wurden kathodisch polarisiert. Die Versuche zeigten, daß die Aufnahme von Wasserstoff nach dem Einbetonieren zumindest bei dem vergüteten Stahl zu Sprödbrüchen führen kann. Bei den patentiert gezogenen Proben wurden trotz stärkerer Wasserstoffaufnahme nur Brüche bei Belastungen dicht unterhalb der Zerreißfestigkeit beobachtet. Bei den Versuchen mit

verzinkten Proben entstehen spätestens nach einigen Tagen Deckschichten auf der Zinkoberfläche, die die Potentiale auf hinreichend edle Werte ansteigen lassen. Einige Tage danach wurden dabei nahezu wieder die gleichen Spannungs-Dehnungs-Kurven wie im Ausgangszustand erreicht.

CONVENTION No 6210-25/070

TITEL

Ermittlung der Sprödbbruchempfindlichkeit bei dünnen Erzeugnissen -
IB 3 (1. Programm "Gebrauchseigenschaften der Stähle" -

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Die Entwicklung eines Verfahrens für die Prüfung der Sprödbbruchempfindlichkeit von Erzeugnissen unter 10 mm Dicke.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Es bot sich an, bekannte Verfahren, wie den Kerbschlagversuch abzuändern, doch mußte besondere Rücksicht auf Vergleichbarkeit des Gefügestandes genommen werden. Daher wurden vier handelsübliche, als 15 mm dicke Flachstäbe gelieferte Stähle der Sorten MU St 37-1, T St 37-1 halbberuhigt, R St 37-2 und RR St 37-3 bei vier verschiedenen, zwischen 810 und 1070°C liegenden Walzendtemperaturen auf Dicken von 10, 8, 6, 4 und 3 mm gewalzt. Mit den aus den verschiedenen Blechstreifen hergestellten, in ihrer Breite der gewalzten Enddicke entsprechenden Kerbschlagproben ähnlich ISO-V-Proben mit senkrecht zur Oberfläche angeordneten Kerbe wurden Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurven in Abhängigkeit von Probenbreite und Walzentemperatur aufgestellt. Hierzu waren ausführliche Untersuchungen notwendig, unter welchen Bedingungen Kerbschlagversuche mit kleinen Abmessungen serienmäßig durchgeführt werden konnten, ohne unzulässige Temperaturfehler zu machen.

Die Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurven sind mit abnehmender Probenbreite zu tieferen, mit steigender Walzendtemperatur zu höheren Temperaturen verschoben. Auch mit 3mm breiten Kerbschlagproben konnte der Übergang vom zähen zum spröden Bruch eindeutig ermittelt werden. Die Verschiebung der Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurve kann durch den mit abnehmender Probenbreite sinkenden Räumlichkeitsgrad des Spannungszustandes nur unvollständig erklärt werden. Es sind vielmehr noch eine Reihe anderer Einflußfaktoren als Parameter zu berücksichtigen, die die Einordnung der Versuchsergebnisse nach der veränderten

Probenbreite allein nicht zulassen. So zeigen im instrumentierten Kerbschlagversuch die Kraft-Zeit-Schaubilder von 3 mm breiten Proben im Vergleich zu denen von 10 mm breiten Proben Besonderheiten, die noch weiter zu untersuchen sind.

Bei Berücksichtigung der durch die Umformung beim Walzen und der Walzendtemperatur gegenläufig beeinflussten Gefügeausbildung lassen sich die von Proben unterschiedlicher Breite erhaltenen Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurven vergleichen. Die Auswertung nach der bei $a_k = 0,5 a_{k \max}$ bestimmten Übergangstemperatur ergibt einen annähernd linearen Abfall dieses Kennwertes um 7 bis 11°C je mm Breitenverminderung. Neigung und Temperaturlage der Ausgleichsgeraden werden von der Stahlgüte bestimmt.

Untersuchungen an Proben mit Rundkerb, ähnlich der DVM-Probe, führten zu gleichartigen Ergebnissen. Die Untersuchung zeigt, daß Erzeugnisse mit Abmessungen unter 10 mm durch ISO-V-Kerbschlagproben verminderter Breite auf Spröbruchempfindlichkeit geprüft werden können, daß es aber auch notwendig ist, die Gütevorschriften entsprechend der Verschiebung der Übergangstemperaturen abzuändern.

REF. F.1

CONVENTION No 6210-25/070

TITEL

Untersuchung von Bauelementen - IE (1. Programm "Gebrauchseigenschaften der Stähle")

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Ermittlung von statistisch gesicherten Wöhlerlinien und Dauerfestigkeitswerten für verschiedene Schweißverbindungen aus Stahl St 37 und St 52 (einschließlich Sondergüte) bei Längs- und Biegebeanspruchung. Abhängigkeit der Lebensdauer von einer zusätzlichen Wärmebehandlung und der Herstellungsmethode (Handschweißung-Maschinenschweißung). Bestimmen von charakteristischen Wöhlerlinien für Nietverbindungen aus St 37.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

1. Vorhaben: Schwingfestigkeitsversuche an der K-Naht-Verbindung in Sondergüte für Stahl St 52.

Das Versuchsprogramm wurde erweitert um den Einfluß von zusätzlichen Parametern, wie Wärmebehandlung der Schweißverbindung und Beanspruchungsart, zu erfassen. Die im Rahmen dieses Programms vorgesehenen Wöhlerversuche an Proben aus Blechstreifen und an geschweißten Prüfstäben wurden abgeschlossen und ausgewertet. Traten keine Brüche im Grundwerkstoff auf, erreichten die untersuchten Schweißverbindungen aus Stahl St 52 nur die Lebensdauerwerte von Schweißverbindungen aus Stahl St 37.

Anhand der Bruchbilder und der röntgenographischen Aufnahmen des Ausgangsmaterials wurden die Bruchursachen untersucht. Wider Erwarten ging der Dauerbruch bei keinem Prüfstand von den auf dem Röntgenfilm zu erkennenden Fehlstellen aus.

2. Vorhaben: Dauerschwingversuche an längsbeanspruchten Stumpfnähten in Stahl St 37.

Die Untersuchung wurde mit den Dauerfestigkeitsversuchen an hand- und maschinengeschweißten, spannungsarm geglühten Prüfstäben abgeschlossen.

Die ermittelten Lebensdauerwerte lagen für die maschinengeschweißten Proben eindeutig über denen der handgeschweißten Stäbe. Ein signifikanter Einfluß der Glühbehandlung ließ sich dagegen nicht feststellen. Die Untersuchung der Bruchursachen an Hand der Bruch- und Röntgenbilder führte zu ähnlichen Ergebnissen wie beim Vorhaben 1.

Ein ausführlicher Abschlußbericht wurde erstellt und übergeben.

3. Vorhaben: Ermittlung des charakteristischen Verlaufs der Wöhlerlinie von Nietverbindungen aus Stahl St 37.

Die geplanten Wöhlerversuche an einreihigen, zweischnittigen Verbindungen unter Schwellbeanspruchung wurden durchgeführt und ausgewertet. Die Größe der Dauerfestigkeit ist danach stark von der Wahl der Grenzlastspielzahl abhängig. Die Untersuchung der Bruchursachen wurde entsprechend Vorhaben 1 vorgenommen.

Ein ausführlicher Abschlußbericht wurde erstellt und übergeben.

4. Vorhaben: Untersuchung zur Schwingfestigkeit geschweißter I-Träger mit Halskehlnaht und einer Stumpfnahat im Steg oder Flansch aus St 52.

Die Untersuchung wurde mit den Wöhlerversuchen an geschweißten Trägern unter Biegewechselbeanspruchung abgeschlossen.

Für die Lebensdauer der Probekörper war die Haltbarkeit der längsbeanspruchten Halskehlnähte ausschlaggebend. Die Maschinenschweißung lieferte eindeutig bessere Ergebnisse als die Handschweißung.

CONVENTION No 6210-25/070

TITEL

Versprödung durch Kaltverformung und Alterung IB 2 (1. Programm
Gebrauchseigenschaften der Stähle)

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centre Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Der technische interessante Einfluß kleiner Kaltverformungen von 0,5 bis 5 % auf Alterung und Sprödbbruchempfindlichkeit allgemeiner Baustähle sollte untersucht werden, um die bisher vorliegenden Unterlagen für größere Kaltverformungen, meist 10 % und darüber, zu ergänzen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

An sieben handelsüblichen Flachstählen der Sorten TU St 37-1, NU St 37-1, T St 37-1 halbberuhigt, LDAC St 37-1 halbberuhigt, R St 37-2, St 37-3 und St 52-3 wurden die Auswirkungen kleiner, durch Stauchen auf-gebrachter Kaltverformungsbeträge von 0,5 bis 5 % sowie einer nachfolgenden natürlichen Alterung (20°C 5.000 h) oder künstlichen Alterung (300°C 1 h) auf die mit ISO-Spitzkerbproben ermittelte Kerbschlagzähigkeit und ihre Temperaturabhängigkeit untersucht und mit der Angabe einer Übergangstemperatur, bei der die Kerbschlagzähigkeit 50 % des Wertes der Hochlage beträgt, gekennzeichnet. Außerdem wurde an zwei ausgewählten Stählen der zeitliche Ablauf der natürlichen Alterung nach einer Verformung um 3 % verfolgt.

Gegenüber dem normalgeglühten Zustand verschieben sich die Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurven durch Kaltverformungen von 0,5 % nur geringfügig, durch solche von 1 % jedoch deutlich zu höheren Temperaturen. Mit steigendem Stauchgrad nimmt die Erhöhung der Übergangstemperatur zu und erreicht nach einer fünfprozentigen Verformung je nach Stahlsorte Beträge zwischen 10 und 33°C. Gleichzeitig sinkt die Hochlage der a_K -T-Kurve zu niedrigeren Werten ab.

Durch Alterung wird die Kerbschlagzähigkeit bereits nach Verformungsgraden von 0,5 % beeinträchtigt. Die weitere Erhöhung der Übergangstemperatur mit zunehmendem Stauchgrad erfolgt in stärkerem Maße als durch die Kaltverformung allein, wobei die künstliche Alterung stets sehr viel wirksamer ist als die natürliche. Proben, die um 2 % verformt worden waren, haben nach der Anlaßbehandlung die gleiche Übergangstemperatur wie die, die ohne Alterung nach einer Kaltverformung um 5 % geprüft wurden. An der Gesamtverschiebung der a_K -T-Kurve ist die Kaltverformung mehr beteiligt als die natürliche Alterung, wird jedoch bei den meisten Stählen von der künstlichen Alterung übertroffen. Die Ergebnisse werden mit den verschiedenen Mechanismen der Versetzungsblockierung gedeutet.

Aus der im untersuchten Verformungsbereich annähernd linearen Abhängigkeit der Übergangstemperatur vom Stauchgrad lassen sich anhand der unterschiedlichen Steigerungen der Ausgleichsgeraden die einzelnen Stähle hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber Kaltverformung und Alterung besser beurteilen als mit der bloßen Angabe einer absoluten Größe für die Übergangstemperatur. Die Rangfolge der Stähle, die sich im angelieferten oder normalgeglühten Zustand aus den Erschmelzungsbedingungen ergibt, bleibt auch nach der Verformung oder Alterungsbehandlung erhalten. Unberuhigte Stähle besitzen höhere und damit ungünstigere Übergangstemperaturen und werden in ihrer Kerbschlagzähigkeit von Kaltverformung und Alterung stärker beeinflußt als beruhigte Stähle.

Die natürliche Alterung ist im Gegensatz zu manchen im Schrifttum wiedergegebenen Arbeiten mit Kerbschlagversuchen eindeutig nachweisbar. Die durch sie in Abhängigkeit von der Auslagerungsdauer bewirkten Änderungen der Übergangstemperaturen lassen sich, wie am Beispiel eines genügend alterungsanfälligen Stahles dargestellt wurde, mit dem Ausscheidungsgesetz nach Cottrell und Harper beschreiben. Die ermittelten Zahlenwerte für den Auslagerungsexponenten und für die Aktivierungsenergie der Fremdatomdiffusion stimmen in der Größenordnung mit Angaben aus dem Schrifttum überein. Voraussetzung für die damit nachgewiesene Anwendbarkeit des Alterungszeitgesetzes auf Ergebnisse des Kerbschlagversuchs ist die Benutzung eines werkstoffkundlich sinnvollen Kennwertes, als der sich die oben definierte Übergangstemperatur gezeigt hat.

Grundsätzlich ist festzustellen, daß das Zähigkeitsverhalten weicher unlegierter Baustähle bereits durch Kaltverformungen von weniger als 5 % und die damit verbundenen Alterungsvorgänge beeinträchtigt wird. Derartige Werkstoffänderungen sind vor allem in zu schweißenden Blechen von Bedeutung und können durchaus zum vorzeitigen Versagen des Bauteils beitragen, so daß eine thermische Nachbehandlung nicht erst für größere Verformungsgrade zu fordern ist.

REF. F 2.1

CONVENTION No 6210-41/1/011

TITEL

- Soudabilité (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")
- A: Etude particulière de l'influence de l'atmosphère du soudage - principalement de l'hydrogène - sur les caractéristiques mécaniques
- B: Etude particulière analytique des contraintes et de leur influence sur les caractéristiques mécaniques

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Institut de Soudure - Paris

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

- A: Ergänzung der Kenntnisse über den Wasserstoffgehalt von Schweißgut und wärmebeeinflusster Zone beim Schweißen.
Bestimmung des Einflusses des Gasgehaltes auf die mechanischen Gütewerte von Schweißverbindungen aus niedriglegierten, höherfesten Baustählen.
- B: Das im 1. Programm entwickelte Verfahren der Modellschweißung zur Beachtung der Spannungsentwicklung soll auf größere Nahtlängen und feste Einspannung mit Kraftmessung angewendet werden. Zur Aufklärung des Zusammenhangs mit den Restspannungen sollen diese ermittelt werden.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

- A: Die durchgeführten Untersuchungen beschränkten sich auf den Einfluß des Wasserstoff-Gehaltes von einlagigen Verbindungsschweißungen an höherfesten Stählen auf den verzögerten Bruch. Um das angestrebte Ziel zu erreichen, wurden Versuche durchgeführt, um das Verhalten von umhüllten Elektroden bei der Trocknung und Befeuchtung zu studieren. Dazu wurden kalkbasisch umhüllte Elektroden definierten Trocknungs- und Befeuchtungsbehandlungen unterzogen und der potentielle und diffusible Wasserstoffgehalt bestimmt. Unter Verwendung der Ergebnisse dieser Versuche wurden einlagige Verbindungsschweißungen einer mehrachsigen Belastung unterzogen.

Die Versuche ergaben die für statische Ermüdung typischen Kurvenverlauf. Es ist der bestimmende Einfluß des Wasserstoffes erkennbar. Die geringe statische Festigkeit dieser Verbindungen ist bemerkenswert. Hier findet sich eine Parallele zu der Dauerschwingfestig-

keit dieser Stähle, wenn mit Spannungskonzentrationen an Kerben gerechnet werden muß.

Eine Möglichkeit, die Langzeitfestigkeit der Verbindungen unter den gegebenen Bedingungen zu erhöhen, besteht darin, daß man die Schweißungen mit Vorwärmung ausführt. Bereits eine Vorwärmtemperatur von 100°C erhöht die untere kritische Spannung erheblich.

- B: Die Versuchsschweißungen wurden unter Messung des Temperatur- und Bewegungsablaufs auf Schweißnahtlängen bis zu 200 mm ausgedehnt. Die Meßergebnisse lassen den Schluß zu, daß die Aufbiegung des freibeweglichen Teiles mit zunehmender Nahtlänge ein Maximum durchläuft.

Eine Vorrichtung zur Messung der Kraft, die notwendig ist, die beiden zu verschweißenden Teile in einer vorgegebenen Lage zu halten, wurde entwickelt. Auch im Kraftverlauf in Abhängigkeit von der Zeit sind neben der Schrumpfung die Umwandlungsvorgänge von Schweißgut und wärmebeeinflußter Zone zu erkennen.

Die beim Schweißen mit fester Einspannung zurückbleibenden Eigenspannungen konnten nach Entwicklung geeigneter Trenn- und Meßverfahren unter Verwendung von Mikrodehnungsmeßstreifen selbst im Bereich steiler Gradienten auf engen Abständen reproduzierbar gemessen werden. Die Überlagerung von Wärme- und Umwandlungsspannungen ist deutlich an den Spannungsverteilungen in Längs- und Querrichtung zu erkennen.

CONVENTION N° 6210-41/2/021

TITRE

Soudabilité (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")
Etude pour augmenter les connaissances sur la soudabilité des
aciers à dispersoïdes - au Nb, Va ou Nb + Va - produits dans la
Communauté

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Institut de Soudure - Paris
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

La recherche est terminée.

TRAVAUX EXECUTES

Néant.

CONVENTION N° 6210-41/3/031

TITRE

Soudabilité (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")
Etudes pour augmenter les connaissances sur la soudabilité des différents aciers, en particulier des aciers 52 améliorés, des aciers de traitements thermiques (état trempé et revenu)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Institut de Soudure - Paris
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Amélioration de la connaissance des phénomènes qui se déroulent dans le métal de base au voisinage de la zone fondue des soudures en vue de se garantir au maximum contre le risque de fissuration à froid dans la zone affectée par la chaleur. On a également recherché l'influence des traitements thermiques de relaxation des contraintes sur les propriétés mécaniques de différentes structures de la zone affectée.

TRAVAUX EXECUTES

Les travaux effectués au cours de l'année 1972 peuvent se diviser de la façon suivante :

a) Etude des phénomènes thermiques dans les joints soudés

A l'aide de méthodes d'analyse directe les travaux commencés au cours des précédents exercices ont été poursuivis. Les abaques de détermination des paramètres de refroidissement dans les zones affectées par la chaleur du soudage, qui avaient été établis dans le cas du soudage "sur plat", ont été généralisés à partir des mêmes bases théoriques. Les procédés de soudage les plus couramment utilisés et les configurations de joint les plus communes ont été pris en compte. Ces abaques sont utilisables pour des soudures effectuées avec ou sans préchauffage.

b) Estimation du risque de fissuration à froid

Les sollicitations dues au bridage s'exerçant sur un joint soudé bout à bout ont été déterminées dans de nombreuses conditions sur la machine construite à l'IRSID. Les résultats obtenus ont été analysés, qualitativement d'une part, et d'autre part quantitativement. Les contraintes de bridage ont été ainsi reliées aux paramètres opératoires : énergie de soudage, épaisseur des produits et longueur bridée.

Les domaines de fissuration à froid, avec électrode basique étuvée, ont été déterminés pour différents aciers. Les résultats obtenus confirment l'influence prépondérante de la structure de la zone affectée par la chaleur quant à sa susceptibilité à la fissuration à froid.

c) Traitement après soudage

Les travaux ont porté sur l'interprétation des résultats expérimentaux obtenus au cours des précédents exercices, l'ampleur des résultats obtenus n'ayant pas justifié une investigation plus poussée de ces phénomènes.

CONVENTION N° 6210-41/3/032

TITRE

Soudabilité (2ème programme d'emploi des aciers")
-Essais pratiques, par la méthode des implants, en vue d'ajuster,
pour les aciers à haute résistance, les deux critères actuels de
soudabilité (dureté sous cordon et carbone équivalent)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutschen Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Institut de Soudure - Paris
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

"Essais pratiques, par la méthode des implants, en vue d'ajuster,
pour les aciers à haute résistance, les deux critères actuels de
soudabilité (dureté sous cordon et carbone équivalent)".

- Le titre du projet de recherche en définit exactement l'objet.

TRAVAUX EXECUTES

La fin de l'étude a confirmé l'intérêt de la validité des résultats des essais sur implants pour l'étude de la soudabilité des aciers. De plus, on a pu, à l'aide de ces essais, procéder à une évaluation du niveau de bridage assuré par les essais classiques.

Dans cette phase finale, on a aussi étudié l'émission acoustique susceptible d'accompagner le phénomène de fissuration à froid. Il apparaît que l'amorçage des fissures reste discret, en l'état actuel des moyens mis en oeuvre, c'est-à-dire qu'il n'entraîne pas d'émission. Par contre, la propagation de ces fissures et leur élargissement peuvent être mis en évidence par une émission intense.

En tous cas, l'émission acoustique peut être utilisée pour la préparation d'échantillons fissurés, destinés à des études relatives à l'influence des fissures sur le comportement mécanique des joints soudés.

CONVENTION No 6210/42/1/011

TITEL

Corrosion atmosphérique des aciers inoxydables et faiblement alliés
(2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- A - Etude de l'influence d'additions de Mo dans des aciers au Cr-Ni sur leur résistance à la corrosion par piqûres par l'eau de mer
- B - Etude de la corrosion atmosphérique des aciers semi-inoxydables (au Cu) en comparaison avec celle des aciers non alliés
- C - Etude de la corrosion des aciers à haute résistance utilisés dans le béton précontraint

BEGÜNSTIGTE(R)

Max-Planck-Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Nijverheidsorganisatie TNO - Delft

GEGENSTAND UND ZIEL

- A - Wie wird der Lochfraß austenitischer Stähle in Meerwasser durch Molybdänzusätze beeinflusst? Ist ein kathodischer Schutz mit Zinkanoden möglich?
- B - Wie unterscheiden sich Stärke und zeitlicher Verlauf der atmosphärischen Korrosion unlegierter und niedrig legierter Stähle?
- C - Wie empfindlich sind Spannstähle gegen Spröddbruch infolge einer Wasserstoffbeladung?

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

- A - Die 1972 durchgeführten Untersuchungen ergaben weitgehend wieder die bereits im vorjährigen Bericht mitgeteilten Befunde. Bei den Proben, die in den ersten 3 Jahren durch Kontakte mit Zink, kathodisch geschützt waren, wurden die Zn-Anoden entfernt. Nach einem Jahr zeigte sich hier bisher nur Spaltkorrosion bei den Unterlegscheiben der Befestigungsschrauben.
- B - Gegenüber den ersten beiden Jahren ergaben sich für die Zeitabhängigkeit der Abrostungen gemäß $\Delta m/q = kt^\alpha$ nach 4 Jahren etwas ge-

ringere Unterschiede für α , nämlich $0,39 \leq \alpha \leq 0,71$. Bei Berücksichtigung einer endlichen Anfangsgeschwindigkeit (v_0) gemäß

$\frac{1}{4} \frac{dm}{dt} = v_0 \left(1 + \frac{t}{t_0} \right)^{\alpha-1}$ lassen sich die Meßwerte am gleichen Ort mit gleichen Werten für v_0 und t_0 und nur unterschiedlichen Werten für α darstellen. Bei der Abrostung in 4 Jahren ergaben sich im Industrieklima (Mühlheim) neben den höchsten Absolutwerten auch die stärksten relativen Unterschiede zwischen den un- und niedrig legierten Stählen sowie zwischen Unter- und Oberseiten der unlegierten Proben.

- C - Die Unterschiede zwischen den vergüteten und patentiert gezogenen Proben des gleichen Stahles bezüglich der Wasserstoffaufnahme und der Anfälligkeit gegen Sprödbbruch bei Zugbelastung wurden durch weitere Versuchsreihen bestätigt. Bei Torsion gingen auch die patentiert gezogenen Proben nach einer Beladung mit Wasserstoff schnell zu Bruch.

Beladene Proben wurden bei erhöhten Temperaturen im Argonstrom dehydriert. Aus den Meßkurven war auf verschiedene Bindungszustände des Wasserstoffs zu schließen. Bei Stichversuchen, bei denen beladene Proben durch anodische Polarisierung in Natronlaufe dehydriert wurden, konnte allerdings kein unterschiedlich gebundener Wasserstoff nachgewiesen werden.

CONVENTION N° 6210-42/2/021

TITRE

Corrosion atmosphérique des aciers inoxydables et faiblement alliés (2ème programme "Propriétés d'emplois des aciers").
Etude de laboratoire en liaison avec des essais à l'atmosphère sur l'influence des éléments d'addition des aciers faiblement alliés sur la corrosion atmosphérique.

BENEFICIAIRE(S)

Max Planck Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Nijverheidsorganisatie TNO - Delft

OBJECTIF

Etude du mécanisme de corrosion atmosphérique des aciers de construction faiblement alliés en relation avec les facteurs atmosphériques et la présence des éléments d'additions propres à ces aciers.

TRAVAUX EXECUTES

Un premier objectif fut de rechercher dans quelle mesure et par quel processus des modifications rapides de la concentration en eau de la rouille influençaient la vitesse de corrosion, les phénomènes ainsi étudiés étaient en relation étroite avec l'humidification naturelle de la rouille par les précipitations de pluie.

Dans ce but, nous avons suivi l'évolution de la corrosion par mesure de la consommation d'oxygène d'échantillons d'acier précorrodés soumis à des immersions successives dans l'eau distillée. Ces immersions successives donnent lieu à une diminution systématique de la vitesse de corrosion, par suite de la décroissance de la concentration en sulfate dans la pellicule superficielle consécutivement à sa solubilisation et à son élimination par l'eau d'immersion.

En étudiant de façon plus détaillée ce processus, nous avons pu déterminer, en première approximation, la forme de la loi de variation de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration en

H₂O dans la rouille : il s'agit d'une courbe présentant un maximum. L'interpénétration de ces résultats fait intervenir à la fois la variation de concentration du FeSO₄ dans la rouille et de l'hydrolyse du Fe₂ (SO₄)₃ qui s'accompagne d'une acidification de la pellicule. Au cours des derniers mois, nous nous sommes attachés à dégager une vue synthétique de nos résultats expérimentaux.

C'est ainsi que nous avons pu mieux préciser l'action des différents facteurs qui conditionnent le processus de corrosion atmosphérique des aciers de construction : présence des sulfates, teneur en humidité, acidité de la pellicule, etc.

Nous avons réussi, dans certains cas, à exprimer sous forme quantitative la loi d'action de certains paramètres expérimentaux; dans d'autres cas, nous avons pu formuler, de façon qualitative, le mode d'action de certaines variables influençant la corrosion.

Par ailleurs, nous avons pu, dans une certaine mesure, préciser l'interdépendance entre la vitesse de la réaction de corrosion et la composition de la rouille.

Ce travail nous permet de proposer, tout au moins qualitativement, un modèle cinétique susceptible de rendre compte des résultats expérimentaux acquis.

CONVENTION N° 6210/42/3/031

TITRE

Corrosion atmosphérique des aciers inoxydables et faiblement alliés (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers").

- Etude de base sur les mécanismes de la corrosion et les facteurs qui conditionnent le comportement et l'efficacité des revêtements protecteurs.

BENEFICIAIRE(S)

Max Planck Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Lay

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Nijverheidsorganisatie TNO - Delft

OBJECTIF

Etude du mécanisme de corrosion atmosphérique des aciers de construction faiblement alliés en relation avec les facteurs atmosphériques et la présence des éléments d'additions propres à ces aciers.

TRAVAUX EXECUTES

Au cours des travaux précédents, nous avons montré l'influence du traitement de sablage sur l'accroissement du courant de corrosion. Nous avons mis en oeuvre une technique de mesure de surfaces. Cette technique est basée sur la cinétique de croissance d'un film d'oxyde obtenu à partir d'une solution de chromate marqué; le poids d'oxyde croît en fonction du temps suivant une loi logarithmique et la surface est proportionnelle à la pente de la courbe.

Les mesures de surface sont toutes effectuées par rapport à une surface de référence qui fut, dans notre cas, une surface polie électrolytiquement dans un bain acétoperchlorique.

Nous avons étudié les surfaces suivantes : sablées à sec avec des sables de module 20 et 24, sablées humide avec un sable d'alumine de module 24 et des billes de verre.

Nous avons d'abord constaté que les résultats étaient reproductibles et que la détermination de la pente était d'autant plus précise que la surface était plus réactive.

Cette méthode de croissance d'un film radioactif sur une surface a permis de montrer que la surface active obtenue par sablage varie avec la granulométrie, le mode de sablage et la durée de sablage. Cette méthode conduit au même classement que celui que nous obtenons par la mesure du courant de corrosion.

Il semblerait donc que l'augmentation de réactivité corresponde soit à l'accroissement de la surface active obtenue par formation d'un microrelief, soit à une plus grande propreté de la surface (surface sablée humide par rapport à une surface sablée à sec). Nous espérons vérifier ces résultats en réalisant des mesures B.E.T. avec la collaboration de l'Université.

Nous avons commencé l'examen de l'influence de la réactivité des surfaces sur la formation des couches de phosphates. Le bain de phosphatation est une solution d'acide phosphorique libre et de phosphate acide de zinc accélérée au nitrate, qui conduit à une formation de phosphate de zinc cristallin épais.

Pour caractériser les couches de phosphates, nous avons pour l'instant suivi l'anoblissement du potentiel au cours de la phosphatation et mesuré l'impédance (*) des couches de phosphates en fin d'opération.

L'évolution du potentiel et l'impédance des couches de phosphates obtenues à partir de surfaces sablées à sec avec des sables de module 20 ou 24 sont très semblables. Au contraire, on constate une différence nette entre les courbes $E = f(t)$ obtenues avec des surfaces sablées à sec et avec des surfaces sablées par voie humide : les surfaces sablées par voie humide présentent un palier, après une minute de phosphatation, avant de s'anoblir à nouveau. D'autre part, les mesures d'impédance des couches de phosphates obtenues après sablage humide diffèrent de façon importante suivant que le sablage est effectué avec un sable d'alumine de forme déchiquetée ou un sable de quartz de forme régulière.

(*) L'échantillon phosphaté est placé dans une solution de 1 N de Na_2SO_4 face à une électrode de platine. On mesure les variations de l'impédance du système à l'aide d'un pont d'impédance alimenté en courant alternatif.

CONVENTION N° 6210-42/4/042

TITRE

Corrosion atmosphérique des aciers inoxydables et faiblement alliés
(2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Etude, en diverses atmosphères naturelles et en atmosphères artificielles de laboratoire, du comportement électrochimique des surfaces métalliques exposées (échantillons)

BENEFICIAIRE(S)

Max-Planck-Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Nijverheidsorganisatie TNO - Delft

OBJECTIF

Studio della correlazione fra comportamento atmosferico e proprietà elettrochimiche di acciai inossidabili e acciai basso - legati ; messa a punto di metodi elettrochimici per la valutazione preselettiva rapida di nuovi prodotti

TRAVAUX EXECUTES

Sugli acciai inossidabili AISI 304, 316, 410 e 430 sono stati applicati vari criteri elettrochimici di valutazione di superfici ossidate all'atmosfera fino a 3 anni. Tali criteri hanno fornito chiare indicazioni della stabilità chimica degli acciai, legata allo spessore e alla difettività del film di passività in funzione del tempo di esposizione e della composizione dell'acciaio.

Sugli acciai basso - legati, uno al Cu-P-Cr-Ni, uno al Cu-P-Nb, uno al Cu e uno al carbonio, è stato compiuto uno studio delle proprietà chimico - fisiche delle patine di ossidazione con tecniche gravimetriche e diffrattometriche e sono state individuate le situazioni composizionali all'interfaccia metallo - ossido mediante analisi alla microsonda elettronica. Sulla base dei risultati ottenuti è stato definito uno schema di meccanismo protettivo in cui viene precisato il ruolo della copertura rugginosa, che agisce da barriera chimica, idrofobica e diffusiva, e dell'interfaccia metallo - ruggine che, negli acciai autoprotettivi, si nobilita sia termodinamicamente (effetto del Cu) che cineticamente (effetto del Cr e del P).

Sono stati poi messi a punto metodi originali di valutazione della patinabilità, basati sul rilevamento rapido delle caratteristiche elettrochimiche di superfici precorroso. L'utilizzazione diretta di tali metodi, come strumento di "screening" metallurgico, è già in atto presso il CSM per la differenziazione semiquantitativa di una serie di composizioni sperimentali.

CONVENTION N° 6210-42/6/061

TITRE

Corrosion atmosphérique des aciers inoxydables et faiblement alliés
(2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Etude des divers procédés de décapage pour le prétraitement de la surface métallique, de divers systèmes de protection, de différents modes d'application, ainsi que de l'influence des conditions atmosphériques sur la corrosion et, par conséquent, sur le choix du système de protection.

BENEFICIAIRE(S)

Max Planck Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Nijverheidsorganisatie TNO - Delft

OBJECTIF

Het einddoel van het onderzoek is het opstellen van algemene Europese richtlijnen voor de bescherming tegen atmosferische corrosie van constructiestaal.

TRAVAUX EXECUTES

Serie III. Invloed van de straalreinheid

De tot dusver verkregen resultaten werden bevestigd. Het gedrag van verven op tot verschillende straalreinheden gestraald staal wordt veelal niet alleen bepaald door achtergebleven walshuid en roest, doch ook door de ruwheid van het na stralen verkregen oppervlak.

Serie V. Invloed van achtergebleven beitsresten

Ook bij deze serie werden in de verslagperiode in vergelijking met vorige inspecties slechts geringe verschillen gevonden. Alleen bij beitsen met zwavelzuur hebben verontreinigingen in het nabeitsbad binnen de gekozen grenzen een ongunstig effect.

Serie VI. Invloed van de methode van aanbrengen

Tot nu toe is alleen bij de zinkstofrijke verf een invloed van de methode van aanbrengen geconstateerd; aanbrengen met een rolborstel geeft hierbij de minst goede resultaten.

Serie VII. Gedrag van verven op verzinkt staal

Zowel op het thermisch verzinkte als op het Sendzimir verzinkte staal is een zekere mate van onthechting geconstateerd van de deklaag bij het alkydhars-verfsysteem.

Op deze plaatsen is eveneens een begin van roesten waargenomen. Een lichte mate van blaarvorming is zichtbaar op de proefplaten voorzien van een epoxy-polyurethan systeem, die niet voor fosfateren zijn voorbehandeld.

Serie VIII. Invloed van het verfsysteem

De tot nu toe verkregen resultaten kunnen als volgt worden samengevat :

- bij verven zonder zinkstof, aangebracht in één laag, wordt het gedrag hoofdzakelijk bepaald door de ruwheid van de ondergrond; bij zeer slecht gestraalde platen is dit ruwheidseffect evenwel niet meer waar te nemen.
- bij zinkstofrijke verven speelt de ruwheid van de ondergrond geen rol van betekenis
- de zinkstofrijke verven op basis van chloorrubber of van organische silicaten geven tot nu toe zowel op goed als op slecht gestraalde ondergronden gunstige resultaten; de voorgeschiedenis van de ondergrond speelt daarbij geen rol
- bij zinkstofrijke verven op basis van anorganische silicaten daarentegen is wel een invloed merkbaar van de voorgeschiedenis; als de platen zijn afgeroest in een industriële omgeving is voor het verkrijgen van een bevredigend resultaat goed stralen noodzakelijk
- bij zink-epoxyverven is goed stralen altijd noodzakelijk

Serie IX. Invloed van dikke lagen

Het doel van deze serie is het gedrag na te gaan van dikke lagen op gestraald en gebeitst staal.

Bij de systemen op basis van polyurethan heeft in verscheidene gevallen onthechting van de deklaag plaats gehad; op deze plaatsen is een zekere mate van roestvorming waargenomen.

Serie X. Invloed van nastralen en naborstelen

Het doel van deze serie is de mogelijkheid te bestuderen om een staaloppervlak dat reeds is voorbehandeld en voorzien van een primer en daarna te lang is blootgesteld geweest aan de atmosfeer en daardoor is geroest, op een efficiënte manier zodanig opnieuw te behandelen door stralen of door borstelen, dat door het aanbrengen van een nieuwe primer-laag gedurende ongeveer 1/2-1 jaar een goede bescherming wordt verkregen.

De proefplaten die voor deze serie zijn gebruikt waren na al dan niet te zijn geroest oorspronkelijk gestraald tot verschillende reinheidsgraden en vervolgens voorzien van een loodmenieverf of een zinkstofrijke verf.

Daarna werden de platen geëxposeerd in een landelijk of in een industriële atmosfeer. De gedurende deze expositieperiode gevormde roest werd vervolgens of wel door stralen met elektrokorund verwijderd tot de reinheidsgraad Sa 2 1/2, of wel door borstelen tot reinheidsgraad St 3.

Tenslotte werden opnieuw primerlagen van loodmenieverf of zinkstofrijke verf aangebracht.

Nagegaan wordt de snelheid van roestvorming op de aldus behandelde proefplaten in afhankelijkheid van de voorbehandeling en van de oorspronkelijke expositieplaats.

De duur van de expositie van deze proefplaten is nog te kort geweest om reeds resultaten te kunnen vermelden.

CONVENTION N° 6210-42/4/041

TITRE

Corrosion par des solutions de chlorures et de sulfates alcalins d'aciers au C utilisés dans les installations de dessalement de l'eau de mer (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

BENEFICIAIRE(S)

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma
(pour le compte de l'Istituto di Ricerche Breda - Milano)

OBJECTIF

L'objectif final des recherches est d'apporter des solutions aux problèmes posés par la corrosion dans les installations de dessalement de l'eau de mer par distillation, en améliorant les connaissances actuelles relatives au comportement des aciers au contact d'eau ayant une forte teneur en chlorure de sodium (saumures). Les recherches pourraient ainsi conduire à une plus grande et meilleure utilisation d'aciers au carbone dans ces installations, donc diminuer le coût de l'eau produite.

TRAVAUX EXECUTES

Prove di corrosione su :

- piastrine di acciaio al carbonio immerse nei recipienti di vetro di laboratorio in vari elettroliti ad alta temperatura disaerati all'ebollizione o aerati per gorgogliamento d'aria
- piastrine di acciaio al carbonio introdotte in autoclavi di acciaio contenenti vari elettroliti a temperature superiori a quella di ebollizione a pressione atmosferica
- tubi di acciaio al carbonio a contatto con acqua di mare calda in movimento, e assoggettati o no a flusso termico in un apposito circuito
- piastrine opportunamente inserite nel vaso di espansione del circuito, immerse nella salamoia o esposte al vapore
- tubi di condensatore percorso da salamoia refrigerata ed esposti, nell'interno del vaso di espansione del circuito, all'azione delle condense (questa sperimentazione è stata possibile nel secondo semestre 1972, dopo opportune modifiche al circuito).

Tra i risultati di maggiore interesse si citano i seguenti :

- nel determinare l'aggressività dell'acqua di mare all'ebollizione, lo ione cloruro risulta di secondario importanza nei confronti dello ione magnesio il cui intervento appare sostanzialmente legato a variazioni di pH della soluzione che si verificano nel corso delle prove
- in ambiente aerato l'attacco corrosivo risulta uniforme in acqua di mare e localizzato in acqua distillata
- strati di ricoprimento ottenuti all'ebollizione in acqua distillata e in acqua di mare offrono minore protezione in acqua distillata aerata che non in acqua di mare aerata

- le velocità medie di corrosione ottenute sulle piastrine immerse nelle soluzioni in recipienti di vetro sono risultate confrontabili con quelle ottenute sulle piastrine immerse in autoclavi e su quelle immerse nel vaso di espansione del circuito sperimentale
- le perdite di peso subite dai tubi degli scambiatori principali del circuito risultano generalmente superiori a quelle subite dalle piastrine immerse nel vaso di espansione del circuito stesso il che indica una sensibile influenza del moto del fluido sulla corrosione
- il valore medio delle perdite di peso ottenute sui tubi del fascio tubiero esposto alle condense è risultato nettamente inferiore a quello ottenuto sulle superficie degli scambiatori di calore principali, circostanza spiegabile con il fatto che le condizioni termiche e fluodinamiche sul fascio esposto alle condense sono meno gravose rispetto a quelle che si verificano sui tubi degli scambiatori principali
- l'entità del flusso termico, almeno certi valori, non è apparsa avere significativa influenza sull'entità della corrosione di tubi in acciaio al carbonio attraversati da acqua di mare ad alta temperatura

REF. F 2.3

CONVENTION No 6210-43/1/011

TITEL

Emboutissabilité des tôles fines (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Hoogovens - IJmuiden

GEGENSTAND UND ZIEL

Ermittlung der Tiefziehkenngrößen beim Ziehen von rotations-symmetrischen und quadratischen Formen in labormäßigem und industriellem Maßstab in Abhängigkeit von der senkrechten Anisotropie und dem Verfestigungsexponenten.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

- a) Ermittlung eines Verfahrens zur Aufbringung von Meßmarkierungen auf Tiefziehbleche. Um Formänderungsmessungen beim Umformen von Blechen beim Tiefziehen durchführen zu können, wurde ein Verfahren erarbeitet, Meßmarkierungen (Raster) nach einer kombinierten photoelektro-chemischen Methode auf Bleche aufzubringen. Das Verfahren hat den Vorteil, daß das Meßraster vor der Verformung nicht gemessen werden muß und die Blechoberfläche unverletzt bleibt.
- b) Weiterhin wurden Tiefziehversuche an einer Universalblechprüfmaschine mit rotationssymmetrischen und quadratischen Werkzeugen in labormäßigem Maßstab durchgeführt.

Außerdem wurden Versuche in industriellem Maßstab auf einer 200 Mp-Tiefziehpresse mit rotationssymmetrischen und quadratischen Werkzeugen durchgeführt.

Zusätzlich wurden Tiefziehversuche nach Erichsen und Bulge-Versuche durchgeführt.

CONVENTION N° 6210-43/2/021

TITRE

Emboutissabilité des tôles fines (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Hoogovens - IJmuiden

OBJECTIF

Cette recherche a pour objet l'étude de l'emboutissabilité des tôles fines. Son but final est l'établissement de corrélations valables entre les caractéristiques métallurgiques de la tôle contrôlée à la production par le sidérurgiste et la tenue de cette tôle à l'emboutissage industriel.

TRAVAUX EXECUTES

La recherche s'est terminée en 1971; pour mémoire, nous rappelons les divers travaux effectués au C.R.M. Les corrélations entre les caractéristiques métallurgiques de la tôle et sa tenue à l'emboutissage industriel sont fondées sur des essais de traction, des essais d'emboutissage de laboratoire et des essais d'emboutissage semi-industriels.

Le C.R.M. a effectué sur les 10 tôles sélectionnées pour cette recherche les trois types d'essais prévus au programme :

1. Détermination des caractéristiques mécaniques : tractions, duretés, rugosité.
2. Emboutissages de laboratoires
 - Indice Erichsen
 - Diamètre critique : swift 32 mm
 - Diamètre critique : Godet 80 mm à fond plat
 - Diamètre critique : Godet 80 mm à fond hémisphérique
 - Essai Fukui.

3. Essais semi-industriels

- Emboutissage de boîtiers rectangulaires
- Emboutissage d'ogives.

Les résultats de ces essais ont été communiqués au C.S.M. par le rapport AM/868/71 et le C.S.M. avait en charge l'exploitation statistique des résultats des 5 laboratoires travaillant en coopération sur les dix mêmes tôles.

En plus de ces essais, le C.R.M. a effectué une série d'essais portant sur quatre aciers de la recherche et visant à étudier l'influence de la qualité de l'acier sur la courbe limite de formage. Ces essais font ainsi le lien entre cette convention et la convention 6210/77 où le C.R.M. a en charge une étude approfondie de la courbe limite de formage.

Pour chacun des quatre aciers, nous avons déterminé 3 courbes limites de formage. Deux de ces courbes sont établies en considérant la rupture comme limite d'emboutissage mais avec deux bases de mesure différentes (2 et 6 mm); la troisième est la courbe d'apparition de la striction.

Il ressort de ces essais que certaines différences apparaissent entre les courbes limites de formage, tant à la rupture qu'à l'apparition de la striction. Cependant, ces différences ne se manifestent que dans la partie droite du diagramme e_1 , e_2 ; compte tenu du nombre limité d'aciers étudiés, il n'est pas encore possible de relier ces variations à la qualité de l'acier.

CONVENTION N° 6210-43/3/031

TITRE

Emboutissabilité des tôles fines (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Hoogovens - IJmuiden

OBJECTIF

Mettre en valeur l'influence des propriétés des tôles minces (particulièrement le coefficient d'écrouissage et le coefficient d'anisotropie) sur l'aptitude à l'emboutissage en utilisant des emboutis semi-industriels.

TRAVAUX EXECUTES

Les essais suivants ont été effectués :

- essais classiques de caractérisation des tôles minces : dureté, essai de traction (mesure de r et n), essai Fukui, essai Erichsen, essai Jovignot;
- essais autres : analyse chimique, essais de vieillissement;
- essais semi-industriels : les emboutis (godets rectangulaires) ont été réalisés avec des pressions de serre-flan variables;
- tracé des courbes limites d'emboutissage à rupture sur les dix aciers du programme.

On a pu tirer les conclusions principales suivantes de cette recherche :

1) essais semi-industriels

- le comportement des tôles dépend d'une manière très sensible de la pression de serre-flan;
- pour les fortes pressions de serre-flan, il existe une excellente corrélation entre la hauteur de l'embouti et le coefficient d'écrouissage.

2) Courbe limite d'emboutissage

- les conditions de reproductibilité des mesures de déformation sont :
 - le cercle à mesurer est celui où la rupture a débuté,
 - la rupture doit passer par le centre du cercle de mesure;
- les ruptures obtenues sur emboutis semi-industriels se placent d'une façon parfaite sur la courbe limite d'emboutissage déterminée par des essais de laboratoire;
- on observe une influence très nette de la taille de la grille de mesure sur la valeur de la plus grande déformation principale ξ_1 . Par contre, il n'y a aucune influence du diamètre de la grille sur la déformation principale ξ_2 ;
- on peut extrapoler les valeurs des déformations principales ξ_1 et ξ_2 obtenues avec une grille de diamètre non nul aux valeurs² que l'on obtiendrait avec des grilles de diamètre nul. On obtient alors une courbe limite d'emboutissage intrinsèque. Cette courbe limite intrinsèque est une droite;
- les trajectoires de déformation jouent un rôle très important sur les valeurs des déformations à rupture. Les points obtenus après des trajectoires complexes ne se placent pas sur la courbe limite d'emboutissage classique, mais se placent parfaitement sur la courbe intrinsèque;
- l'influence du coefficient d'anisotropie est faible sur les valeurs de ξ , à rupture. Par contre, ce coefficient a un effet marqué sur la pente des trajectoires de déformation;
- l'influence du coefficient d'écrouissage est nette sur les valeurs de ξ_1 et ξ_2 à rupture.

REF. F 2.3

CONVENTION N° 6210-43/6/061

TITRE

Emboutissabilité des tôles fines (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Hoogovens - IJmuiden

OBJECTIF

Onderwerp : vervormbaarheid van koudgewalste dunne plaat

Doel : te onderzoeken welke invloed de mechanische eigenschappen hebben op de vervormbaarheid van koudgewalste dunne plaat door toepassingen van modellen van verschillend vervormingstype.

TRAVAUX EXECUTES

Op basis van Erichsen-waarde en gemiddelde r-waarde heeft een voorselectie van materiaal plaatsgevonden. Uit deze voorselectie zijn tien varianten gekomen, die bij het definitieve onderzoek zijn betrokken.

Hoogovens heeft voor de voorselectie en het definitieve onderzoek twee varianten geleverd. Hiervan zijn de eigenschappen bepaald en gerapporteerd (IJmuiden, april 1969, door L. Hartman en J. Peels).

Aan de hand van drie modellen, die respectievelijk een beroep doen op de strek-, dieptrek- en gecombineerde eigenschappen van de tien staalvarianten, is het onderzoek uitgevoerd. Het persen van de modellen is uitgevoerd bij PHILIPS-Eindhoven. De beoordeling en rapportering van de resultaten is uitgevoerd door PHILIPS en HOOGOVENS.

Voornaamste uitkomsten :

1. Bij een paraboolvormig produkt is de maximale produkthoogte gecorreleerd met de mechanische eigenschappen. De beste correlatie is gevonden met de hardheid, Erichsenwaarde, gemiddelde n-waarde en de vloeigrens-treksterkte verhouding.
2. Bij een rechthoekig bakje is de maximale plooihouderkracht gecorreleerd met de mechanische eigenschappen. De beste correlatie is gevonden met de gemiddelde r-waarde, de r-waarde onder 45° met de walsrichting en de Fukui-waarde.
3. Bij een bekermodel met plaatselijk uitgebolde bodem is de maximale plooihouderkracht als criterium genomen. De beste correlatie is gevonden met het produkt van de gemiddelde r- en n-waarde en de gemiddelde r-waarde alleen.

CONVENTION N° 6210-45/2/021

TITRE

Résistance à la fatigue des assemblages soudés et de constructions types (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Centre de Recherches des Industries de Fabrication Métallique -
Bruxelles

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Institut de Soudure - Paris

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Etude des propriétés de fatigue du métal de base et de joints soudés types réalisés dans deux aciers à haute limite élastique (type A52 et A70 normalisé), l'accent étant mis sur :

- les effets d'entaille et les effets dimensionnels,
- les joints types présentant un intérêt immédiat pour l'utilisateur,
- la réalisation d'un grand nombre d'essais, distribués dans des laboratoires différents et permettant une analyse statistique des résultats.

L'exécution de ce programme devrait permettre certains problèmes de première importance pour l'utilisateur et de jeter les bases d'une première réglementation communautaire sur les propriétés de fatigue des joints soudés en acier à haute limite élastique.

TRAVAUX EXECUTES

Au cours de l'année 1972, nous avons exécuté la presque totalité des essais Wöhler sur l'acier A52 à l'état entaillé et soudé; certains essais Staircase ont été entamés mais ne sont pas terminés.

Les résultats obtenus doivent être examinés avec l'ensemble des résultats de tous les laboratoires participants. A cet égard, il apparaît d'abord que tous les résultats sont bien groupés, les

bandes de dispersion n'étant guère plus étendues que celles qu'on avait obtenues avec des éprouvettes soudées dans un seul institut et essayées dans un seul laboratoire.

Les résultats montrent également que les éprouvettes K2 vertical et K1 ont une limite de fatigue égale respectivement aux 70 % et aux 50 % de celle des éprouvettes K2 horizontal dont, il faut le souligner, la soudure avait été meulée.

Bien que les résultats soient groupés, on constate cependant de légères différences entre les éprouvettes soudées en des endroits différents, celles soudées au C.R.M. se situant au centre de la bande de dispersion.

Nous avons également procédé à l'usinage des éprouvettes en acier A70.

CONVENTION N° 6210-45/2/022

TITRE

Résistance à la fatigue des assemblages soudés et de construction types (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Evaluation de la limite de fatigue conventionnelle de divers types d'assemblages soudés représentatifs de structures industrielles, compte tenu des défauts et imperfections et comparaison de ces résultats avec ceux obtenus à partir de programmes de charge représentatifs des sollicitations de service.

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Centre de Recherches des Industries de Fabrication Métallique - Bruxelles

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Institut de Soudure - Paris

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Fournir aux constructeurs des indications sur la conception optimale des structures soudées soumises à la fatigue ainsi que des données relatives à la résistance de ces assemblages soudés.

TRAVAUX EXECUTES

a) Etat d'avancement des essais au 31 décembre 1972

1ère partie : Plats de renforts

- fabrication des éprouvettes : 46 sur 46
- réalisation des essais : 46 sur 46

2ème partie : Fatigue classique sur assemblages-types

- fabrication des éprouvettes : 247 sur 247
- réalisation des essais : 247 sur 247

3ème partie : Fatigue à programme sur assemblages-types

- fabrication des éprouvettes : 216 sur 216
- réalisation des essais : 162 sur 216

b) Essais réalisés pendant l'année 1972

3ème partie : Fatigue à programme sur assemblages-types

- fabrication des éprouvettes : 53
- réalisation des essais : 120

c) Etat d'avancement des rapports

L'ensemble de cette recherche conduira à l'élaboration de divers rapports d'états d'avancement variables.

1) Considérations sur le comportement en fatigue d'extrémités profilées en ogive de plats de renfort soudés

Contenu : - essais de fatigue classiques
- mesures des coefficients de concentration des contraintes
- essais de fatigue à programme de charges
- passage de la résistance en fatigue classique à celle en fatigue à programme.

Ce rapport relatif à la première partie sera soumis au Comité Exécutif Fatigue et Constructions types lors de la réunion du 11 mai 1973.

2) Comparaison du comportement en fatigue classique d'extrémités diversément profilées de plats de renforts soudés

Contenu : - essais de fatigue classiques
- mesures des coefficients de concentration de contraintes
- comparaison des comportements.

Ce rapport relatif à la première partie sera soumis au Comité Exécutif Fatigue et Constructions types lors de la réunion du 11 mai 1973.

3) Analyse de l'évolution des fissures au cours d'essais de fatigue sur poutres en double té renforcées par des plats soudés

Il s'agit d'une analyse non prévue dans le programme mais qui s'est avérée nécessaire en vue de permettre la discussion des sécurités à introduire dans le dimensionnement de ces renforts. Les mesures réalisées sont dépouillées mais leur interprétation présente actuellement encore certaines difficultés.

4) Comportement en fatigue classique de joints types soudés de qualité industrielle et comparaison avec les résultats donnés dans la littérature

Contenu : - synthèse de la recherche bibliographique
- résultats des essais de fatigue classique
- comparaison de ces résultats et des données de la littérature
- incidence du caractère industriel des joints essayés.

La recherche bibliographique a été poursuivie jusque début 1972; le dépouillement des essais et l'analyse des ruptures est en cours.

5) Comportement en fatigue à programme de charges de joints
types de qualité industrielle

Les essais et leur analyse sont en cours.

CONVENTION N° 6210-45/3/031

TITRE

Résistance à la fatigue des assemblages soudés et de constructions types (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Etude des propriétés de fatigue du métal de base et de joints soudés types réalisés avec deux aciers à haute limite élastique (type A 52 et A 70 normalisé)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Centre de Recherches des Industries de Fabrication Métallique - Bruxelles

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Institut de Soudure - Paris

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Améliorer les connaissances dans le domaine de la fatigue des assemblages soudés d'aciers classiques ou à haute résistance et fournir aux utilisateurs des manuels de mise en oeuvre de ces aciers.

Il s'agit d'un programme de recherche qui comporte l'étude des propriétés de fatigue du métal de base et de joints soudés types réalisés avec deux aciers à haute limite élastique (type A 52 et A 70 normalisés).

TRAVAUX EXECUTES

Au cours de l'année 1972, l'IRSID a poursuivi et terminé les essais de fatigue en effort uni-axial sur les éprouvettes prélevées dans une tôle brute (épaisseur 12 mm) en acier du type A 52. Les types d'éprouvette étaient les suivants :

Type KT 2,5 : éprouvette trouée (facteur de concentration de contrainte $KT = 2,5$)

Type K 2 H : éprouvette à ailettes rapportées, soudées manuellement (soudage horizontal), avec meulage manuel du pied de la soudure

- Type K 2 V : éprouvette à ailettes rapportées, soudées
manuellement (soudage vertical)
- Type K 4 : éprouvette à ailette traversante, soudée
manuellement (soudage horizontal), sans inter-
pénétration

Les essais ont été exécutés conjointement avec les cinq autres laboratoires participant à la recherche communautaire, suivant une distribution statistique des éprouvettes et des niveaux d'essais fixés au préalable.

Dans un premier temps, toutes les éprouvettes correspondant aux niveaux élevés des différentes courbes de Wöhler à déterminer ont été essayées.

Les résultats d'essais montrent, d'une part, l'influence bénéfique du meulage du pied de la soudure, dans le cas des éprouvettes du type K 2, et d'autre part le niveau peu élevé de résistance à la fatigue des éprouvettes du type K 4.

Par la suite, des essais effectués dans le domaine de l'endurance illimitée ont permis de déterminer deux limites d'endurance, sur des éprouvettes types K 2 H et K 2 V, une éprouvette étant considérée comme non rompue dès qu'elle a atteint 2.10^6 cycles.

Chaque limite d'endurance a été déterminée avec 18 éprouvettes par la méthode en escalier (ou méthode stair case).

Les résultats obtenus sont les suivants :

$$\begin{aligned} \text{Eprouvette type K 2 V} \quad \sigma_D &= 240 \pm 48 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Eprouvette type K 2 H} \quad \sigma_D &= 108 \pm 88 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

A l'aide de ces résultats ainsi que de l'estimation de ceux des autres laboratoires, il est possible de tracer pour chaque type d'éprouvettes les droites de GOODMAN, de manière à rendre compte de l'influence de la charge moyenne sur les caractéristiques d'endurance.

Il est intéressant de remarquer que toutes les droites de GOODMAN se coupent en un même point correspondant à la résistance mécanique du métal de base ($R_m = 520 \text{ N/mm}^2$).

Par ailleurs, les éprouvettes en acier A 70 correspondant à la dernière partie du programme de la recherche, qui ont été soudées par l'Institut Français de la Soudure, sont parvenues à l'IRSID.

L'IRSID participe actuellement à l'expédition de ces éprouvettes vers les laboratoires d'essais, conformément à la distribution statistique définie précédemment.

CONVENTION N° 6210-45/3/032

TITRE

Résistance à la fatigue des assemblages soudés et de constructions types (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Aptitude à la déformation des assemblages soudés
- Dispositions à choisir pour le tracé et l'exécution d'ossatures à âme pleine
- Dispositions à choisir pour des noeuds de treillis tubulaires

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Centre de Recherches des Industries de Fabrication Métallique - Bruxelles

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Institut de Soudure - Paris

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Etude a : Etude des effets de diverses entailles géométriques, en conjugaison avec ceux découlant de la nuance d'acier considérée et des conditions de soudage choisies.

Etude b : Etude du comportement en fatigue de diverses dispositions constructives relatives aux raidisseurs transversaux et longitudinaux, aux semelles multicouches, au décroisement des joints.

Etude c : Etude du comportement en fatigue de divers types de noeuds de treillis tubulaires et de treillis mixtes tube-profilé.

TRAVAUX EXECUTES

Etude a

La recherche est terminée.

Etude b

La recherche est en cours. Elle comporte six parties :

1. semelles multicouches
2. décroisement des joints
3. raidisseurs verticaux
4. raidisseurs longitudinaux
5. connecteurs acier-béton
6. croisement des membrures et des lisses.

La partie 3 a été achevée en 1972.

Les résultats obtenus font apparaître une tenue en fatigue des assemblages simples tenus à priori comme suspects meilleure que ce qui était attendu. Par contre, le comportement de dispositions plus élaborées et plus coûteuses se révèle moins bon qu'il n'était espéré. L'influence très défavorable de défauts locaux est également mise en évidence. Il apparaît enfin une sensibilité importante à la fatigue des zones comprimées.

La partie 2 a été entreprise et sera achevée dans le début de 1973.

Etude c

Le travail a été interrompu pour être rejeté à la suite de l'étude précédente.

REF. F 2.5

CONVENTION No 6210-46/1/011

TITEL

Rupture fragile des aciers (2ème programme "Propriété d'emploi des aciers")

- Influence de la structure et de l'épaisseur des produits sur l'apparition de la rupture fragile. Comportement sous sollicitation pluriaxiale.
- Influence de la structure et de l'épaisseur des éprouvettes sur la température d'arête de fissuration dans l'essai Robertson et sur la température de fragilisation dans l'essai Pellini.

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Ermittlung von Kenngrößen für die Spröbruchempfindlichkeit von Stählen im instrumentierten Kerbschlagversuch, im Fallgewichtsversuch nach Pellini und im Versuch nach Robertson sowie bei statischen und dynamischen Zugversuchen zur Prüfung der Reißfähigkeit; Untersuchung des Einflusses von Beanspruchungsgeschwindigkeit und Probenabmessungen auf das Prüfergebnis im Temperaturbereich von Raumtemperatur bis -195°C bei verschiedenen Stählen mit einer Zugfestigkeit zwischen 350 und 850 N/mm^2 .

Untersuchung des Spröbruchverhaltens der Stähle St 37-2 und St 52-2 in Abhängigkeit von der Austenitisierungstemperatur, der Haltedauer auf Austenitisierungstemperatur und der Geschwindigkeit der nachfolgenden Abkühlung unter besonderer Berücksichtigung der Ausscheidungsvorgänge im übersättigten α -Mischkristall.

DURCHFÜHRTE ARBEITEN

a) Instrumentierte Kerbschlagbiegeversuche an verschiedenen Stählen

Als Modell für die mehrachsige Beanspruchung wurden in Fortführung der Arbeiten des 1. Programmes weitere Stähle der Gütegruppen St 37, TtStE 47 und 17 MnCrMo 33 durch instrumentierte Kerbschlagversuche untersucht. Aus den Kraft-Zeit-Schaubildern wurden der Verlauf der Biegehöchstkraft, der Biegefließgrenze sowie der Kraft am Beginn und

Ende des schnellen Bruches über einen weiten Temperaturbereich ermittelt. Aus der Kraft am Beginn des schnellen Bruches wurde die dynamische Reißfähigkeit berechnet.

Außerdem wurde das Verhalten von Probe und Meßvorrichtung beim instrumentierten Kerbschlagversuch durchgerechnet und allgemeine Forderungen an Versuchsführung und Meßapparatur ausgearbeitet.

b) Einfluß von Temperatur und Dehngeschwindigkeit auf Streckgrenze und bruchmechanische Kennwerte sechs verschiedener Stähle

Die Versuche waren bereits zum Ende des vergangenen Berichtsjahres abgeschlossen.

c) Versuche nach Robertson an verschiedenen Stählen

Es wurden Gradienten - und isotherme Robertson-Versuche an 20 und 38 mm dicken Proben aus dem Stahl St 52-3 bei einer Vorspannung von 60 % der Streckgrenze durchgeführt. Insbesondere wurde der Einfluß der Blechdicke und der Korngröße untersucht.

Es ergab sich bei Querproben von 20 mm Dicke eine isotherme Reißaufgangtemperatur $T_{is} = -38^{\circ}\text{C}$ und bei 38 mm Dicke $T_{is} = -16^{\circ}\text{C}$, d.h. in diesem Dickenbereich eine Zunahme von T_{is} um $1,2^{\circ}\text{C}$ pro mm Dickenzunahme. Bei Querproben von 20 mm Dicke ergaben sich für die Korndurchmesser $d = 13\text{ }\mu\text{m}$; $19\text{ }\mu\text{m}$; $55\text{ }\mu\text{m}$ $T_{is} = -38^{\circ}\text{C}$; -16°C ; $+36^{\circ}\text{C}$; d.h. die isotherme Reißaufgangtemperatur nimmt stark mit wachsender Korngröße zu.

d) Einflußgrößen auf das Spröbruchverhalten der Stähle St 37-2 und St 52-3

In Abhängigkeit von der gewählten Austenitisierungstemperatur der Haltezeit bei derselben und der nachfolgenden Abkühlungsgeschwindigkeit wird eine Verschiebung der Übergangstemperatur beim Kerbschlagversuch an St 37 und St 52 - Qualitäten beobachtet. Lichtmikroskopisch zeigt sich eine sehr heterogene Korngrößenverteilung, derart, daß Bereiche kleiner Korngröße mit solchen größeren Korndurchmesser abwechseln, wobei auch die Perlitverteilung stark variiert. Zudem wurden selbst bei gleicher Korngröße je nach den Abkühlungsbedingungen unterschiedliche Übergangstemperaturen ermittelt. Hinweise auf die Ursachen dieser Anomalität waren lichtmikroskopisch nicht zu erhalten. Deshalb wurde versucht, mittels Mikrosonderanalyse und rastermikroskopischer Beobachtung der Schliff- und Bruchflächen der Kerbschlagproben Aufschluß zu erhalten. Da sich in der Literatur verstärkt Hinweise finden, daß Vorgänge im γ -Mischkristall, die im Zusammenhang mit der Ausscheidung von Karbiden, Nitriden, Karbo-Nitriden und Phosphiden stehen, als Ursache dieses in Abhängigkeit von der Abkühlungsgeschwindigkeit

zu beobachtenden unterschiedlichen Sprödverhaltens anzusehen sind, wurde das elektronenmikroskopische Durchstrahlungsverfahren in die Untersuchung mit einbezogen. Die Auswertung der Ergebnisse ist derzeit noch nicht abgeschlossen.

REF. F 2.5

CONVENTION N° 6210-46/3/031

TITRE

Rupture fragile des aciers (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")
- Étude des mécanismes de la rupture fragile. Aciers à caractéristiques améliorées.

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Vérifier et compléter les corrélations entre essais de rupture fragile du 1er programme avec des aciers à caractéristiques élevées.

TRAVAUX EXECUTES

Essais Charpy V, Pellini et Battelle sur 16 aciers différents
(aciers C, Mn trempés revenus
C, Mn, Ni, V
aciers au nickel
acier allié trempé revenu).

Les résultats confirment les relations générales entre les critères de rupture fragile.

Les droites de régression ont été calculées.

REF. F 2.6

CONVENTION No 6210-47/1/011

TITEL

Amélioration des connaissances dans le domaine du fluage des aciers pour emploi à chaud (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

BEGÜNSTIGTE(R)

Max-Planck-Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Änderung des Mikrogefüges von warmfesten Stählen durch Zeitstandsbeanspruchung

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

In Fortführung der Untersuchung des ersten Programmes wurden 6 Chrom-Molybdän-Stähle mit 0,16 bis 0,18 % C, 0,1, 1,1 oder 2,4 % Cr, 0,3, 0,5 oder 1,0 % Mo, 0,002 bis 0,02 % N sowie 7 Chrom-Molybdän-Vanadin-Stähle mit 0,22 % C, 0 oder 1,15 % Cr, 0,55 bis 1,0 % Mo und 0,15 bis 0,35 % V im Laboratorium erschmolzen. An dem verschmiedeten und vergüteten Material wurden Zeitstandsversuche bei 550°C bis zu 16 000 h Dauer ausgeführt, um die Zeitstandlinien zu ermitteln; weitere Proben wurden nach bestimmten Laufzeiten ausgebaut, um die Gefügeänderungen zu studieren.

Von den Stählen mit vergleichbaren Chrom- und Molybdängehalten hat stets der mit dem höheren Vanadiningehalt den höheren Kriechwiderstand, die höhere 1 %-Zeit-Dehngrenze und die höhere Zeitstandfestigkeit für 1 000 und für 10 000 h, auch wenn man die früher untersuchten vanadinfreien Stähle einbezieht. Das steht im Zusammenhang mit der Gefügebildung, trotz vergleichbarer Vergütungstemperatur ist bei den vanadinhaltigen Stählen das Zwischenstufengefüge feinkörniger als das der Chrom-Molybdän-Stähle.

Während der Zeitstandsversuche wurden Feinausscheidungen mit Mikrogefüge der Proben beobachtet, die zwar teilweise an Ankrystallisationen an die bei der Wärmebehandlung ausgeschiedenen Karbide führten, aber bei den vanadinhaltigen Stählen feiner und zahlreicher sind als die der vanadinfreien Chrom-Molybdän-Stähle. Der Stahl mit der höchsten Zeitstandfestigkeit zeigt auch eine größere Dichte von Feinausscheidungen.

Wie die Isolierung der Karbide zeigte, war das Vanadin schon durch die Wärmebehandlung weitgehend in die Karbidform überführt. Chrom und besonders Molybdän zeigten dagegen eine ähnliche Reaktion wie bei den vanadinfreien Stählen, daß sie erst während der Zeitstandversuche aus der Matrix in die Karbide einwanderten. Ein Gleichgewicht scheint bei Ende der 16 000-stündigen Versuche bei 550° C noch nicht erreicht zu sein.

CONVENTION N° 6210-47/2/021

TITRE

Amélioration des connaissances dans le domaine du fluage des aciers pour emploi à chaud (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Evaluation de la dispersion maximale des durées de résistance des éprouvettes soumises au fluage, provoquée par les erreurs systématiques commises dans l'évaluation de la température d'essai.

BENEFICIAIRE(S)

Max Planck Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Evaluation par voie statistique de la grandeur de toutes les erreurs systématiques et aléatoires qui affectent les mesures de température des éprouvettes au cours des essais de fluage à chaud.

Formulation de l'influence de ces erreurs thermiques sur la dispersion des résultats.

TRAVAUX EXECUTES

1. Etude de la dispersion de la valeur des erreurs de mesure de la température par thermocouples

Les erreurs commises lors de la mesure de la température des éprouvettes de fluage au moyen de thermocouples, se groupent en deux catégories, à savoir : les erreurs systématiques et les erreurs aléatoires.

Les erreurs systématiques comprennent notamment les erreurs de profondeur d'immersion, d'étalonnage, de l'instrument de mesure, l'erreur entre la température nominale et la température moyenne de l'essai ... Ces erreurs positives ou négatives s'additionnent algébriquement. L'étude statistique réalisée a permis de montrer que les limites de confiance à 98 % des erreurs systématiques globales étaient égales à $\pm 2,7^{\circ}\text{C}$.

Les erreurs aléatoires correspondent aux écarts entre les températures instantanées des thermocouples et la température moyenne calculée sur la durée d'un essai. Elles sont dues à la régulation du four, celle de la source froide de référence, la sensibilité de l'instrument de mesure, la stabilité des bouchons d'étanchéité. Les limites de confiance à 99 % des erreurs aléatoires ont été estimées à $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

2. Mesure de la dispersion des résultats d'essais de rupture par fluage

Des essais de rupture par fluage ont été réalisés à des températures proches de 700°C sur des éprouvettes prélevées de barreaux d'acier austénitique AISI 316.

Les essais étaient doubles et la tension initiale de chacun d'eux choisie en vue d'obtenir des ruptures après des durées proches de 100, 1000, 4000 et 10.000 heures.

Les conditions techniques ont été fixées en vue d'imposer entre les différents groupes d'essais, à la fois des erreurs systématiques et aléatoires des températures de l'ordre de grandeur de celles déterminées par l'analyse statistique.

3. Conclusions

Les résultats obtenus donnent lieu aux constatations suivantes :

Les erreurs commises sur la mesure et le contrôle des températures des éprouvettes durant les essais de fluage provoquent une grande dispersion des résultats, dispersion qui est préjudiciable aux caractéristiques extrapolées et qui est principalement due aux erreurs systématiques de température.

La plupart des normes actuelles n'imposent des limitations qu'en ce qui concerne les erreurs aléatoires, alors que celles-ci n'ont qu'un effet mineur sur la dispersion des durées de rupture.

Ces considérations portent à conclure qu'une réduction sensible de la dispersion des résultats de fluage ne pourra être obtenue qu'en incluant, dans les futures normes, des spécifications plus complètes en ce qui concerne l'exactitude de mesure des températures.

CONVENTION No 6210-47/3/031

TITRE

Amélioration des connaissances dans le domaine du fluage des aciers pour emploi à chaud (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Comparaison des diverses formules d'extrapolation existantes et mise au point d'une formule susceptible d'une utilisation plus générale et plus sûre

BENEFICIAIRE(S)

Max-Planck-Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Les travaux entrepris dans le cadre de cette recherche constituent la suite d'un précédent programme qui avait pour objet de comparer les diverses formules d'extrapolation proposées de part et d'autre et de mettre au point une formule susceptible d'une utilisation plus générale et plus sûre.

L'évolution de la structure de différents types d'aciers soumis à des essais de fluage sera comparée ici aux résultats de ces essais à l'aide de l'analyse mathématique. Les travaux du premier programme ayant porté sur des aciers à stabilité structurale à chaud, les aciers étudiés maintenant possèdent des structures moins stables et des précipités évolutifs.

TRAVAUX EXECUTES

Des essais de déformation par fluage et de rupture par fluage ont été entrepris sur des aciers des types suivants :

- acier au carbone manganèse;
- acier à 2,25 % Cr et 1 % Mo;
- acier à 11 % Cr - Mo - V - Nb;
- acier austénitique 18-12 au Ti - W;

Les essais de rupture sont terminés, par contre les essais d'allongement par fluage de longue durée ont dû être poursuivis jusqu'à obtention d'un allongement permettant une exploitation correcte des résultats.

Le dépouillement de l'ensemble des résultats obtenus a été entrepris. Il est en voie d'achèvement et le rapport final du contrat est en cours de rédaction.

CONVENTION No 6210-48/1/011

TITEL

Aciers pour traitements thermiques (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Influence d'un traitement thermique direct après mise en forme à chaud sur la structure et les propriétés des aciers
- Relations entre la structure et la résistance à la fatigue

BEGÜNSTIGTE(R)

Max-Planck-Institut - Düsseldorf

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Im Anschluß an die Untersuchung im Rahmen des 1. Gemeinschaftsprogrammes, welche den systematischen Zusammenhang zwischen Umwandlungsablauf, Gefügeentwicklung und Eigenschaften am Beispiel eines Chrom-Molybdän-Vergütungsstahles darstellte, sollten nunmehr an dem gleichen Stahl die Veränderungen dargestellt werden, die bei einer Wärmebehandlung aus der Umformwärme eintreten. Dazu waren insbesondere die Zusammenhänge zwischen Umformung, Verfestigung, Erholung, Rekristallisation und Kornwachstum zu untersuchen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Die kombinierten Umformungs- und Wärmebehandlungseinrichtungen zum Fließpressen von 10 mm-Zug- und DVM-Kerbschlagproben haben sich so bewährt, daß der Vergleich mit den Ergebnissen aus dem 1. Programm nicht nur auf die Behandlung "Martensitisches Härten und Anlassen" beschränkt zu bleiben braucht, sondern auf isothermische Behandlungen in der unteren Zwischenstufe ausgedehnt werden konnte. Derartige Wärmebehandlungen hatten sich an dem gleichen Stahl einer Vergütungsbehandlung überlegen gezeigt.

Nach Voruntersuchung des Umwandlungsverhaltens aus der Umformwärme wurden zwei Umwandlungstemperaturen kurz unterhalb Ms gewählt.

Allgemein konnte festgestellt werden, daß die Festigkeit sowohl nach Härten und Anlassen als auch nach isothermischem Umwandeln um $10-15 \text{ kp/mm}^2$ höher liegt als bei üblicher Wärmebehandlung, wenn der Rekristallisationsvorgang so gelenkt wird, daß ein möglichst feines Austenitkorn (ASTM 11-12)

erzielt wird. Die Anlaßbeständigkeit ist dementsprechend um 50 - 70° C erhöht. Die Zähigkeitswerte sind bezogen auf die Festigkeit unverändert. Auch hier zeigen sich die isothermisch in der unteren Zwischenstufe umgewandelten Proben den Warmformvergüteten überlegen, zusätzlich dadurch, daß diese Behandlung geringere Eigenspannungen garantiert.

Der ununterbrochene Fertigungsablauf bei der Wärmebehandlung aus der Umformwärme stellt sich als weiterer grundsätzlicher Vorteil heraus.

CONVENTION N° 6210-48/3/031

TITRE

Aciers pour traitements thermiques (2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Etude de la dispersion subie par les courbes de transformation sous l'influence de faibles variations de la composition chimique
- Etude des facteurs importants qui conditionnent les techniques de mise en forme à froid sans enlèvement ultérieur de matière.

BENEFICIAIRE(S)

Max Planck Institut - Düsseldorf

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Les recherches prévues avaient pour objet :

1. l'étude des modifications des courbes de transformation que provoquent de faibles variations de la composition chimique à l'intérieur des fourchettes habituellement admises pour définir une nuance d'acier;
2. l'étude de traitements thermiques susceptible de conférer aux aciers les structures les plus favorables à leur mise en forme à froid.

TRAVAUX EXECUTES

Influence des variations de composition sur la cinétique de la transformation

L'expérimentation nécessaire à l'étude de la cinétique de la transformation en refroidissement continu a été poursuivie sur les coulées expérimentales dont les compositions correspondaient aux types suivants :

x C 4 à 1 % Cr

x CD4 à 1 % Cr et 0,25 % Mo

x NC 6 à 1 % Ni et 1 % Cr

avec des teneurs en carbone et en éléments d'alliage variant selon les limites des fourchettes de composition définissant ces nuances.

D'autre part, un dépouillement quantitatif des résultats obtenus a été réalisé en utilisant la courbe représentant les variations de dureté après refroidissement en fonction des conditions de refroidissement. L'analyse dans l'ensemble des résultats est en voie d'achèvement et le rapport final est en cours de rédaction.

Traitement thermiques avant mise en forme à froid

L'étude des caractéristiques mécaniques des différents aciers industriels retenus s'est poursuivie après exécution des différents traitements thermiques comportant des austénitisations à différentes températures dont certaines appartenaient à l'intervalle $Ac_1 - Ac_3$ suivies de divers refroidissements.

Les résultats obtenus ont montré l'intérêt des traitements thermiques d'adoucissement réalisés selon un cycle comportant un chauffage à une température comprise entre Ac_1 et Ac_3 , mais assez proche de Ac_1 , suivi d'un refroidissement lent. On obtient à la suite d'un tel traitement une augmentation de la ductilité et une diminution de la résistance, ce dernier phénomène étant d'autant plus accusé que la teneur en carbone est plus élevée.

Quelques essais de déformation ont été réalisés qui permettent de vérifier l'intérêt de tels traitements avant mise en forme à froid.

Le rapport final est en cours de rédaction.

CONVENTION N° 6210-55/2/220

TITRE

Soudabilité des aciers (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")
- Comportement des produits sidérurgiques aux sollicitations dans l'épaisseur sous l'effet de liaisons effectuées par sondage

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Soudure - Paris

OBJECTIF

La recherche a pour objectif la mise au point de méthodes d'essais destructifs ou non pour apprécier la sensibilité des produits métallurgiques à l'arrachement lamellaire.

TRAVAUX EXECUTES

Quatre aciers, de 25 à 75 mm d'épaisseur, préalablement contrôlés par ultra-sons ont été soumis à différents essais. Les essais CRANFIELD et les essais de fenêtre (Window test) comportent un joint soudé sollicitant le produit suivant l'épaisseur. A chaque étape du soudage, les décollements dans le matériau ont été détectés par ultra-sons. Des éprouvettes de traction ont été extraites des assemblages en croix (fenêtre) et soumises à essai.

L'essai de pliage statique d'une éprouvette comportant 3 entailles (essai du CRIF) a été expérimenté.

Dans les essais sur éprouvettes soudées, les examens métallographiques qui confirment les observations effectuées par ultra-sons ont montré la présence de décollements par arrachement lamellaire, mais la plupart de ces arrachements lamellaires trouvent leur origine initiale dans une fissuration du type fissure à froid sous cordon. L'interprétation des essais sur éprouvettes soudées requiert donc une grande prudence.

L'essai de pliage statique sur éprouvette, avec 3 entailles, a mis en évidence des décollements internes du matériau; toutefois, la relation entre ces décollements et le risque d'arrachement lamellaire lors du soudage n'est pas évidente dans tous les cas. Une interprétation métallographique de ces décollements est en cours.

CONVENTION N° 6210-55/3/230

TITRE

Soudabilité des aciers (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Soudabilité et soudage des aciers à haute résistance trempés et revenus
- Comportement des produits sidérurgiques aux sollicitations dans l'épaisseur, sous l'effet de liaisons effectuées par soudage.

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Soudure - Paris

OBJECTIF

La recherche comporte deux parties bien distinctes; l'une est relative à la soudabilité des aciers à haute résistance trempés et revenus. L'autre se rapporte aux problèmes posés par le comportement de l'acier laminé selon le travers court, sens dans lequel il peut être sollicité du fait des joints soudés, soit durant et après soudage (Arrachement lamellaire), soit en service.

TRAVAUX EXECUTES

Grâce à la prolongation qui a été accordée, la recherche a pu se poursuivre dans ses deux objectifs :

Aciers à haute résistance trempés et revenus : Plusieurs nuances d'acier, dont certaines expérimentales, ont été soumises aux essais désormais classiques de détermination des courbes de transformation et de fissuration sur implants. D'autre part, des essais ont été entrepris, sans conclusions positives pour l'instant pour éclaircir le rôle joué dans la fissuration par l'état initial du métal de base. Enfin, on a mis au point une technique d'essai de traction par choc sur implants fissurés, pratiqué au mouton instrumenté.

Comportement dans l'épaisseur : On a poursuivi l'étude par ultrasons de l'échantillonnage reçu, ainsi que celle des produits ayant donné lieu à arrachement lamellaire.

On a mis au point un dispositif d'essai d'arrachement de goujon soudé, permettant d'évaluer, au laboratoire et sur le site, le risque d'arrachement lamellaire.

Enfin, on a repris la technique de l'essai dit Brodeau permettant d'accéder directement aux caractéristiques de traction dans le travers court et on a amélioré les conditions de prélèvement et d'usinage en vue de rendre l'essai moins onéreux. Ainsi modifié, on l'a appliqué aux échantillons disponibles.

L'essai sur implants dans le travers court est actuellement à l'étude.

CONVENTION N° 6210-55/2/320

TITRE

Corrosion atmosphérique et patinabilité des aciers (3ème programme
"Propriétés d'emploi des aciers")

- Mesures de la quantité d'hydrogène qui se développe pendant la corrosion de l'acier en atmosphère humide

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Centre Belge de la Corrosion - Bruxelles

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

La recherche a pour but de définir les conditions expérimentales permettant de différencier rapidement les comportements, d'une part, des aciers patinables vis-à-vis des aciers au cuivre et des aciers ordinaires et, d'autre part, des aciers patinables entre eux, en relation avec leur comportement dans des essais d'exposition de longue durée.

TRAVAUX EXECUTES

Dans le cadre de notre recherche sur la corrosion du 2ème programme "Propriétés d'emploi des aciers", nous avons découvert que dans certaines circonstances de corrosion les aciers faiblement alliés dégagent de petites quantités d'hydrogène.

Dans le premier stade de notre étude, sur les aciers patinables, nous nous sommes attachés à vérifier que cette propriété était bien liée au caractère de patinabilité de l'acier.

Nous avons pu montrer que dans certaines circonstances de corrosion, les aciers patinables donnaient lieu à la libération de quantités d'hydrogène systématiquement beaucoup plus élevées que pour les aciers au cuivre et que les aciers ordinaires n'en donnaient pratiquement pas.

Nous avons ensuite cherché à obtenir une meilleure compréhension de la cause de cette production d'hydrogène. Nous avons montré que celle-ci est associée à l'hydrolyse des sels ferriques présents dans la pellicule superficielle et donc à la production de petites quantités d'acide sulfurique. L'acidité ainsi produite est responsable de la formation d'hydrogène par la réaction entre H^+ et l'acier.

La présence de sels ferriques constitue un indice remarquable de l'existence d'une étape intermédiaire d'oxydation de Fe^{++} à l'intervention de l'oxygène atmosphérique.

La matérialisation de la présence de cette étape intermédiaire nous a été fournie par des expériences effectuées sur des aciers patinables, au cuivre et ordinaires en atmosphères d'air, d'oxygène et d'azote. En présence d'air et d'oxygène, l'étape intermédiaire est mise en évidence par une discrimination très nette entre aciers ordinaires et patinables. Par contre, en atmosphère d'azote seul, l'oxydation intermédiaire en Fe^{++} ne se produisant pas, la différenciation entre aciers ordinaires et patinables disparaît.

Au cours du second stade de notre étude, nous avons orienté nos essais en vue de préciser les conditions expérimentales à réaliser pour rendre notre méthode de discrimination des aciers patinables aussi sélective que possible.

La distinction de comportement est essentiellement liée à la présence dans la pellicule de rouille, d'une certaine quantité d'humidité qui, comme nous l'avons dit ci-dessus, par hydrolyse des sels ferriques est génératrice d'acide sulfurique.

L'obtention de valeurs d'hydrogène mesurables et reproductibles dépend dès lors de la quantité d'eau présente à la surface du métal.

Nos plus récents essais ont surtout eu en vue de rechercher les conditions dans lesquelles il est possible de doser cette concentration en eau sans apporter de modification à la composition et à la structure de la rouille, en particulier sans modifier la concentration de la pellicule sulfatée dont l'importance dans la cinétique réactionnelle est prépondérante.

Cette phase de notre étude a été appliquée :

- d'une part, à des échantillons d'acier provenant d'essais d'exposition en site industriel
et,
- d'autre part, à des échantillons des mêmes nuances corrodées artificiellement en chambre de corrosion.

Nous avons ainsi pu mettre en évidence l'importance des conditions climatiques de prélèvement :

- la sécheresse de l'atmosphère au moment du prélèvement précédant la mesure a comme conséquence que l'hydrogène des sels ferriques ne peut se manifester qu'assez faiblement et les faibles taux d'hydrogène qui en résultent sont nettement plus élevées.
- après une brève immersion des échantillons dans l'eau distillée, les valeurs des taux de production d'hydrogène sont nettement plus élevées.

De plus, lorsque la patine a été endommagée par des immersion répétées dans l'eau distillée, suivies d'une réexposition en atmosphère naturelle de plus ou moins longue durée, les taux de production d'hydrogène sont encore nettement plus élevés.

CONVENTION N° 6210-55/2/321

TITRE

Corrosion atmosphérique et patinabilité des aciers (3ème programme
"Propriétés d'emploi des aciers")
- Tests potentiocinétiques; test par immersions - émergences alternées

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Centre Belge de la Corrosion - Bruxelles
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Préciser la validité pratique des méthodes d'étude accélérée de corrosion aptes à estimer les caractéristiques de patinabilité des aciers patinables.

TRAVAUX EXECUTES

On a étudié le comportement de deux séries d'acier (série A et série F) dont la tenue à l'atmosphère était connue, en utilisant la méthode potentiocinétique à potentiel d'électrode croissant puis décroissant et la méthode électrochimique par immersions et émergences alternées du CEBELCOR. En outre, on a effectué une étude d'orientation sur les oscillations de potentiel d'électrode d'aciers patinables et d'aciers non-patinables dans le domaine de la transition de l'état actif à l'état passif en vue de rechercher une éventuelle corrélation entre le comportement oscillatoire et l'aptitude au patinage.

Ces études ont conduit aux résultats essentiels suivants :

- en ce qui concerne la méthode potentiocinétique et la méthode électrochimique par immersion-émergence alternées :
 - a) dans le cas des aciers de la série A (aciers fournis en 1956 par le CNRM) dont le comportement atmosphérique nous est connu pour quatre d'entre eux, on note une bonne concordance entre le comportement aux atmosphères rurale et urbaine (après 36 mois) et le classement par ordre de mérite fondé sur les déterminations faites selon chacune des deux méthodes électrochimiques accélérées examinées;

- b) dans le cas des aciers de la série A (aciers CNRM) et des aciers de la série F (aciers fournis en 1971 par le CSM) dont le comportement atmosphérique ne nous est pas connu, les déterminations par la méthode électrochimique par immersions et émergences alternées permettent une répartition des échantillons en trois groupes :

- 1) aciers patinables
- 2) aciers de patinabilité douteuse
- 3) aciers non patinables.

Dans le groupe 1 se rangent tous les aciers réputés et présumés patinables de nos essais, ainsi que tous les aciers au cuivre, hormis un seul (acier F.376 à 0,20 % Cu). Le groupe 3 contient tous les aciers réputés non patinables soumis aux essais, ôté un seul, qui est compris dans le groupe 1.

- en ce qui concerne la méthode des oscillations de potentiel d'électrode (étude d'orientation) :

- a) la morphologie des oscillations de potentiel d'électrode dans le domaine actif/passif semble varier selon la passivabilité de l'acier;
- b) sur cette base est obtenue une discrimination entre aciers patinables et aciers non patinables, qui concorde bien avec le classement fourni par la méthode électrochimique par immersions et émergences alternées.

Ces études montrent en outre que sont à considérer comme patinables, non seulement les six aciers faiblement alliés (au cuivre et au chrome) que l'on considère généralement comme "patinables" dont nous avons disposés, mais aussi tous les autres aciers au cuivre (sans chrome), au nombre de quatre, qui nous ont été remis (avec une réserve pour l'un d'eux, dont l'identité devrait être vérifiée) et que l'on considère généralement comme non patinables.

Les études contractuelles ayant été achevées avant l'expiration de la durée fixée à leur terme, nous avons choisi comme thème de travaux complémentaires ressortissant à l'objet de l'étude communautaire : l'influence de la température de séchage sur les couches de rouille formées en atmosphère sulfureuse sur un acier patinable et un acier non patinable.

Ces études ont conduit aux résultats résumés ci-dessous :

- a) Influence de la température de séchage : L'influence considérable que la température de l'acier lors des périodes de séchage exerce sur l'existence des cavités et des fissures dans la couche de rouille ainsi que sur le pouvoir protecteur de la rouille a été confirmée.
- b) Evolution du soufre : Lors du premier stade des essais (température de séchage : 20°C), la distribution du soufre présente une accumulation de cet élément au voisinage des cavités acides de l'interface métal/rouille. Lors des stades ultérieurs (températures de séchage : 34 et/ou 60°C), la distribution du soufre devient bien régulière;

contrairement à ce qui a été observé pour l'acier non patinable, on n'a pas décelé alors, pour l'acier patinable, d'accumulation locale de soufre dans des régions particulières de la couche de rouille ("nids de sulfate").

- c) Evolution du cuivre : Dès le premier stade des essais (température de séchage : 20°C), on a constaté la présence de cuivre dans les couches de rouille voisines de l'interface métal/rouille. Lors des deuxième et troisième stades (températures de séchage : respectivement 34 et 60°C), l'examen de la distribution du cuivre dans la couche de rouille révèle une localisation de cet élément plus proche de l'interface rouille/air. Cette localisation s'avère encore plus nette lors d'un quatrième stade de l'expérience (température de séchage : 60°C; immersions et émergences alternées dans de l'eau distillée) qui permet de constater un vrai "barrage" de cuivre tout proche de l'interface rouille/air, probablement sous la forme de sulfate basique de cuivre.
- d) Morphologie et pouvoir protecteur : En cas de traitement par une solution de NaHSO_3 , 10^{-4} M, la rouille obtenue sans chauffage de l'acier pendant les périodes de séchage (20°C, 1er stade de nos essais) présente de nombreuses cavernes et fissures, et son potentiel d'électrode est très bas ($-280 \text{ mV}_{\text{ecs}}$), ce qui révèle que la rouille n'est nullement protectrice. Lors de traitements par une solution de NaHSO_3 , 10^{-4} M avec chauffage lors des périodes de séchage (34 et 60°C, 2e et 3e stades), l'étendue des cavités et fissures dans la couche de rouille diminue fortement, sans être annulée toutefois, et le potentiel d'électrode s'élève progressivement jusqu'à $+130 \text{ mV}_{\text{ecs}}$, ce qui révèle une amélioration de la qualité de la couche de rouille. Lors du quatrième stade (traitement par de l'eau distillée, et chauffage à 60°C), les cavités disparaissent entièrement, l'étendue des fissures diminue fortement, et le potentiel d'électrode se stabilise à une valeur élevée : $+200 \text{ mV}_{\text{ecs}}$; ceci révèle que la couche de rouille est devenue protectrice.
- e) Evolution des couches de rouille et mécanisme de formation des rouilles protectrices : Un diagramme d'équilibres électrochimiques approximatif et provisoire relatif au système $\text{Fe}-\text{SO}_3-\text{H}_2\text{O}$ a été établi sur la base des données actuelles de la littérature. Les données de ce diagramme, utilisées conjointement avec les résultats des travaux expérimentaux, ont conduit à une représentation originale du mécanisme d'évolution des rouilles en présence d'atmosphère sulfureuse, ainsi que du mécanisme de formation des rouilles protectrices. Nous pensons actuellement que les meilleures patines (sans cavités ni fissures et présentant un potentiel d'électrode élevé) seront obtenues sur des aciers qui, après un décapage adéquat (par exemple par des traitements artificiels ou après exposition à des pluies dans des atmosphères industrielles et légèrement polluées), seront exposés à des actions alternées de pluies non polluées et d'un brillant soleil.

CONVENTION N° 6210-55/3/330

TITRE

Corrosion atmosphérique et patinabilité des aciers (3ème programme
"Propriétés d'emploi des acier")
- Accélération de la formation et caractérisation de la patine

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Centre Belge de la Corrosion - Bruxelles

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Néant.

TRAVAUX EXECUTES

Dans notre note précédente, nous avons indiqué que les mesures de résistance interne d'une pile constituée par un échantillon enrouillé et un fil de platine permettaient de suivre les variations de qualité des couches d'oxydes formées artificiellement par immersions alternées. Cette méthode nous permettait de différencier un acier au cuivre d'un acier patinable, ce que nous n'avions pu obtenir dans nos conditions expérimentales en suivant les mesures de potentiel.

Nous avons donc cherché à vérifier que les rouilles obtenues par voie artificielle présentaient une similitude avec les rouilles résultant d'exposition atmosphérique.

L'examen au microscope de coupes polies montre que les rouilles obtenues par les deux voies présentent un aspect semblable : présence de cratère avec formations de pustules et zones peu attaquées. Les rouilles d'acier ordinaires sont fissurées. L'analyse aux rayons X des poudres d'oxydes confirme que les constituants des rouilles obtenues par les deux voies sont identiques (surtout lépidocrocite et goëthite).

Par l'examen à la microsonde, nous avons déterminé la répartition des éléments Cu, P, S dans les rouilles des aciers ordinaires et patinables.

Pour ces derniers, nous avons en outre recherché la distribution des éléments Ni et Cr. Les images obtenues pour les différents éléments sont très ressemblantes, quel que soit le mode de formation des couches d'oxyde. Le cuivre qui est réparti sous forme de strates dans les rouilles atmosphériques l'est également dans les rouilles formées artificiellement. De même, la rouille des aciers patinables est fortement enrichie en chrome sous forme de strates dans les deux cas.

Nous avons aussi mesuré les courants de corrosion des échantillons exposés à l'atmosphère dans le but de caractériser l'état d'enrouillement des surfaces et de comparer cet état à celui qui s'obtient après des immersions alternées.

Suivant le mois auquel sont retirées les éprouvettes, les courants de corrosion varient dans d'importantes proportions pour l'acier ordinaire et dans des proportions faibles pour l'acier patinable. Le courant de corrosion est maximal à la sortie de l'hiver et est minimal après l'été. Ces mesures montrent l'importance des facteurs atmosphériques sur la qualité des rouilles, toutefois les courants de corrosion diminuent en fonction du temps pour un même mois de prélèvements. Pour essayer de reproduire des variations saisonnières en immersions alternées, il serait nécessaire d'introduire au moins des essais permettant de favoriser l'élimination de la rouille.

Nous avons réalisé des essais pour accélérer la formation de la rouille au cours de nos essais d'immersions alternées. Au lieu de sécher nos éprouvettes en les ventilant avec de l'air ambiant, nous les avons ventilés avec de l'air à 45°C.

En suivant les mesures de résistance de la couche de rouille, on s'aperçoit que cette résistance s'accroît dès les lers cycles plus rapidement que lors de l'essai à température ambiante. La mesure de potentiel montre corrélativement un anoblissement plus important pour les éprouvettes séchées à 45°C, mais cet anoblissement n'est visible qu'après 150 cycles.

REF. F 3. 2a

CONVENTION N° 6210-55/4/340

TITRE

Corrosion atmosphérique et patinabilité des aciers (3ème programme
"Propriétés d'emploi des aciers")
- Evaluation potentiodynamique ; influence du temps de vieillissement
anodique

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Centre Belge de la Corrosion - Bruxelles
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Messa a punto di metodi di laboratorio per la prevlutazione del
comportamento alla corrosione atmosferica di acciai basso-legati.

TRAVAUX EXECUTES

Sono stati presi in considerazione quattro acciai, uno al carbonio di
riferimento e tre basso-legati al rame di cui è noto il comportamento
atmosferico per 4 anni di esposizione in atmosfera industriale e rurale.

Su tali acciai sono stati sperimentati tre metodi di valutazione che
prevedevano un'ossidazione preliminare (elettrolitica o naturale) delle
superficie dell'acciaio e una successiva caratterizzazione della stessa
in soluzioni solfetiche in funzione dei parametri di patinabilità
(potenziale di corrosione, resistenza di polarizzazione, passivabilità).

I risultati ottenuti con i tre metodi hanno fornito una netta di quattro
acciai in accordo con il loro comportamento atmosferico.

CONVENTION No 6210-55/1/310

TITEL

Corrosion par eau (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")
- Korrosionsverhalten von verzinkten Stahlrohren in warmen Brauchwässern

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

GEGENSTAND UND ZIEL

Untersuchung des Einflusses von Kupfer im warmen Wasser auf das Korrosionsverhalten verzinkter Stahlrohre bei Veränderung der Zusammensetzung des Wassers ($\text{CaCO}_3/\text{CO}_2$ -Gleichgewicht, Kupfergehalt). Erfassung der Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Anwendung von verzinkten Stahlrohren für Warmwasserversorgungsanlagen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Nach rd. neun Monaten Versuchsdauer wurden jeder der insgesamt zwölf Umlaufanlagen zwei Rohrproben, eine aus dem Vorlauf, die andere aus dem Rücklauf, entnommen. Von beiden Seiten dieser Rohrproben wurden Ringe für die metallographische Begutachtung der Zinkschicht und der Rohrwand entnommen.

Die Reinzinkphase in den mit Leitungswasser, $\text{pH} = 7,5$, beaufschlagten Rohren war stark zerstört, das heißt zum Teil abgelöst und mit Korrosionsprodukten durchsetzt und zum Teil nicht mehr vorhanden. Die Legierungsphase war größtenteils noch zusammenhängend erhalten.

In den CO_2 -sauren Wässern, $\text{pH} = 6,5$, war die Reinzinkschicht vollständig abgetragen, die Legierungsphase bereits stark in Mitleidenschaft gezogen.

Bis auf die Rohre, die mit Leitungswasser mit $0,1 \text{ mg/l}$ Kupfer beaufschlagt waren, zeigten alle Rohre, die mit Cu-haltigem Wasser beansprucht worden sind, bereits Rostknollen, unter denen die Rohrwand bis zu einer partiellen Waddickenverringerung muldenförmig korrodiert war. Die Rostknollen traten insbesondere in den Phasengrenzbereichen Wasser/Luft/Rohrwand in der obersten Zone des Rohrrinnens auf. In dieser Zone haben sich trotz der eingebauten Entlüftungsmöglichkeiten ständig Luftpolster gebildet.

Es ist zu erwarten und konnte auch durch die metallographischen Untersuchungen bestätigt werden, daß die Zinkschicht in dem Phasengrenzbe-

reich schneller als in anderen Zonen abgetragen wird. Hieraus kann geschlossen werden, daß eine Lochfraßkorrosion erst dann auftritt, wenn die Zinkschicht örtlich begrenzt bis zum Grundmaterial abgetragen ist.

Alle Wässer, die nicht mit Kupfer oder CuNi 20 Fe in Berührung waren oder denen nicht gezielt Kupferionen beigemischt wurden, sowie das über CuNi 20 Fe-Bleche fließende unbehandelte Leitungswasser haben bis zu diesem Zeitpunkt nicht zur Bildung größerer Rostknollen und somit zu stärkerer Muldenbildung auf der Rohrwand geführt.

Die Gewichtsabnahmen der Kupfer- und CuNi 20 Fe-Bleche waren erwartungsgemäß stark pH-abhängig.

Der Potentialverlauf behielt die bereits nach rd. 100 Tagen in den CO₂-sauen und nach 150 bis 200 Tagen in den unbehandelten Leitungswässern erreichte Tendenz bei. Die Werte blieben bis zum Entnahmetermin relativ konstant, schwankten jedoch innerhalb der einzelnen Anlagen erheblich.

REF. F 3.3

CONVENTION No 6210-55/1/110

TITEL

Emboutissabilité des tôles fines (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Détermination des courbes-limites de formabilité
- Etude des corrélations entre textures et emboutissabilité

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Hoogovens- IJmuiden

GEGENSTAND UND ZIEL

- A: Über die Eigenschaftsänderungen beruhigter Tiefziehstähle in Abhängigkeit von den Herstellungsbedingungen.
- B: Untersuchungen zur genauen Messung von Formänderungen an Ziehteilen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

- A: Es werden die Eigenschaftsänderungen eines beruhigten Tiefziehstahles in Abhängigkeit verschiedener Herstellungsbedingungen bis zum fertig nachgewalzten Kaltband unter laboratoriumsmäßigen Bedingungen verfolgt. Ausgehend vom Warmwalzen mit Verformungsgraden von 10 und 40 % und unterschiedlichen Abkühlungsgeschwindigkeiten werden die Proben angelassen. Nach dem Kaltwalzen mit Stichabnahmen von 70 und 80 % erfolgt das rekristallisierende Glühen. Anschließend wird dressiert.

Die Auswertung der Prüfungen führt zu der Erkenntnis, daß sich sämtliche mechanischen und technologischen Eigenschaften durch den Warmverformungsgrad beeinflussen lassen. Unterschiedliche Abkühlungsgeschwindigkeiten machen sich erheblich bemerkbar. Unterschiedliche Kaltwalzgrade zeigen nur einen bedingten Einfluß auf diese Werte.

B: Beschreibung selbstentwickelter Geräte zur leichteren Ermittlung von Formänderungen in gekrümmten Bereichen von Ziehteilen. Darstellung eines einfachen und schnellen Lackabdruckverfahrens. Formänderungsmessungen mit 1, 2 und 5 mm Rastern an Feinblechproben, die unter verschiedenen Beanspruchungen bis zum Anriß verformt wurden. Vergleich der Messungen mit Modellvorstellung: Ergebnisse: Grenzformänderungen auf der Basis der Bruchellipse sehr ungenau. Genügende Genauigkeit, wenn unter Zugrundelegung des ersten Nebenkreises Raster mit 2 bis 3 mm großen Kreisen verwendet werden.

CONVENTION No 6210-77/1/110

TITEL

Emboutissabilité des tôles fines (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Détermination des courbes-limites de formabilité
- Etude des corrélations entre textures et emboutissabilité

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Hoogovens - IJmuiden

GEGENSTAND UND ZIEL

- A: Untersuchungen über die Eigenschaftsänderungen eines unruhigten Tiefziehstahls in Abhängigkeit von den Herstellungsbedingungen.
- B: Einfluß des Formänderungsweges auf die Grenzformänderungen des Feinblechs.
- C: Ermittlung von Grenzformänderungskurven (FLC) unter Berücksichtigung unterschiedlicher Versuchsbedingungen, besonders hinsichtlich der Verformungsgeschwindigkeit.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

- A: Es wurden die Eigenschaftsänderungen eines unruhigten Tiefziehstahles in Abhängigkeit von verschiedenen Umform- und Wärmebehandlungsbedingungen untersucht.

Ausgangspunkt war das Warmwalzen mit Verformungsgraden von 10 und 40 % und sehr unterschiedlichen Abkühlungsbedingungen. Vor dem Kaltwalzen mit Stichabnahmen von 70 und 80 % werden die Warmbandproben bei Temperaturen von 200, 300 und 400°C angelassen. Das Rekristallisieren im Luftumwälzofen soll das betriebliche Haubenglühen, das konduktive Erwärmen dem kontinuierlichen Glühverfahren entsprechen.

Die Auswertung der Versuche führt zu der Erkenntnis, daß sich die durch unterschiedliche Warmwalz- und Abkühlungsbedingungen ergebenen

Eigenschaftsänderungen in jedem Herstellungsschritt bemerkbar machen.

- B: Zunächst Untersuchung von drei Formänderungswegen mit Hilfe eines besonders geeigneten Versuchswerkzeuges (hydrodynamische Schmierung): Folgt auf einachsige Verformung zweiachsiges Streckziehen, so lassen sich bis zu 40 % höhere Grenzformänderungen erreichen als im umgekehrten Fall. Die Messungen erfolgten bei besonders geringen Formänderungsgradienten auf der Basis des Einschnürbeginns.
- C: Zunächst wurden als Grundlage für weitere Untersuchungen die Arbeitsweisen der beteiligten Prüfstellen genau erfaßt und miteinander verglichen. Obwohl die Versuchsbedingungen hinsichtlich der Werkzeugbeschaffenheit, der Schmierungsmethode sowie der Meßrasterabmessung voneinander abweichen, lassen die im Rahmen einer Vergleichsuntersuchung ermittelten FLC eine befriedigende Übereinstimmung erkennen.

Die geplanten Untersuchungen über den Einfluß der Verformungsgeschwindigkeit setzen einen Umbau der Dualform-Pressen voraus. Die Vorbereitungen für eine Veränderung des Hydrauliksystems wurden inzwischen abgeschlossen und mit dem Umbau begonnen. Nach dem Umbau werden Stempelvorschubgeschwindigkeiten von 2 bis 15 m/min möglich sein.

CONVENTION N° 6210-55/2/120 + 6210-77

TITRE

Emboutissabilité des tôles fines (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")
- Etude des corrélations entre textures et emboutissabilité

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherche de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

L'objet de cette recherche est l'étude de différentes méthodes de détermination des courbes limites de formage (C.L.F.) et leur incidence sur l'interprétation en vue d'effectuer le choix d'une méthode rationnelle.

TRAVAUX EXECUTES

Une première série d'essais a mis en évidence l'intérêt de considérer la striction locale comme limite pratique d'emboutissage.

Les travaux exécutés par la suite ont porté sur la concordance des méthodes de détermination des C.L.F. dans la partie gauche du diagramme $e_1 - e_2$. Deux aspects ont été considérés lors de ces essais :

1. Mode de déformation de la tôle

- a) Tractions sur éprouvettes larges (200 mm)
- b) Tractions sur éprouvettes étroites, lisses et entaillées
- c) Emboutissage de flans par un poinçon hémisphérique.

2. Méthode d'évaluation des taux de déformation à l'apparition de la striction

- a) Comparaison en cours de déformation entre le taux de déformation du cercle le plus déformé et celui des cercles voisins (méthode graphique d'intersection)
- b) Etude des profils de déformation relevés sur éprouvettes rompues (méthode des profils)

- c) Etude du chemin simple suivi par la zone la plus déformée dans les diagrammes $e_1 - e_2$, $e_1 - e_3$ et $e_2 - e_3$

Dans l'état actuel des recherches, on peut tirer les conclusions suivantes :

- 1) La striction locale permet une vision plus réaliste des allongements limites admissibles en emboutissage que la rupture.
- 2) Les éprouvettes entaillées conduisent à sous-estimer la courbe limite de formage à la rupture lorsqu'on mesure seulement e_1 et e_2 .
- 3) Il y a concordance entre la méthode graphique d'intersection et la méthode des profils.
- 4) Ces deux méthodes ne sont pas applicables sur des éprouvettes entaillées et sont d'interprétation dangereuse lorsque le gradient de déformation e_1 est élevé.
- 5) La traction large et l'emboutissage avec un bon lubrifiant fournissent la même C.L.F. par la méthode d'intersection et celle des profils.
- 6) L'étude des chemins simples de déformation sur éprouvettes étroites lisses et entaillées a permis de mieux définir la notion de striction. La courbe d'apparition de la striction locale, trouvée par cette technique coïncide avec celle définie sur traction large et emboutissage par les deux autres méthodes.

D'autre part, une analyse de l'évolution de la texture en cours de déformation nous permettra peut-être de trouver une interprétation physique du phénomène de striction.

CONVENTION 6210-55/3/130 + 6210-77

TITRE

Emboutissabilité des tôles fines (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Etude des corrélations entre textures et emboutissabilité

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute -Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

- La recherche 6210-55/3/130 était achevée en 1971 (cf. Rapport activité 1971)
- Convention 6210-77 : Influence des paramètres métallurgiques sur la texture des tôles et sur leur limite d'emboutissage.

TRAVAUX EXECUTES

1) Etude de la recristallisation

L'IRSID étudie l'effet de la composition chimique d'un point de vue général, c'est-à-dire comprendre la formation des textures.

On utilise de petits lingots laminés à chaud, à froid puis recuits contenant des additions comme le titane et le niobium.

Les techniques opératoires sont mises au point sur des aciers industriels calmés Al, en particulier des techniques de diffraction de rayons X très élaborées (figures de pôles donnant une description tridimensionnelle de l'anisotropie cristallographique, largeur de raies de diffraction montrant l'évolution de la recristallisation).

On met en évidence deux types d'action :

- accroissement du retard de la restauration et de la recristallisation,
- accroissement de l'énergie de déformation entre les composantes :

111 et 100

2) Etude des courbes limites d'emboutissage

Le travail porte sur les courbes limites d'emboutissage à striction et spécialement sur l'influence des trajectoires complexes grâce à des combinaisons d'essais.

CONVENTION N° 6210-77/6/061

TITRE

Influence des trajectoires de déformation curvilignes sur la courbe-limite de formabilité des tôles minces

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

La détermination correcte de la courbe limite d'emboutissabilité, comme on l'a décrite dans le programme de Hoogovens a son importance. Mais elle doit être probablement considérée comme un premier jalon. Dans les publications venant du Japon on indique notamment que la position de la courbe limite d'emboutissabilité peut être fortement influencée par les trajectoires de déformation. Les Japonais n'ont pas étudié d'une manière approfondie cette influence sur la courbe limite d'emboutissabilité, mais elle semble être aussi importante qu'une amélioration de la qualité de l'acier.

TRAVAUX EXECUTES

Om een juiste indruk te kunnen krijgen van de invloed van de rekweg op de ligging van de grensvervormingskromme is dit onderzoek gestart met de beschrijving van de rekweg zoals zij normaal optreedt, d.w.z. indien de hoofdvervorming in één stap wordt bereikt.

In tegenstelling met het tot nu toe veronderstelde blijkt deze rekweg niet recht maar gebogen te zijn. Zij kan het best beschreven worden door twee raaklijnen aan deze kromme.

Een kromme (in het $\xi_1 - \xi_2$ vlak) getrokken door de snijpunten van de raaklijnen aan de "normale" rekwegen blijkt goed overeen te stemmen met de door Hill en Marciniak theoretisch afgeleide krommen.

Nadat de reproduceerbaarheid van de bepaling van de grensvervormingskromme - begin zichtbare insnoering - is bepaald, zijn enkele voorbeelden behandeld, die naast de rekweg, de ligging kunnen beïnvloeden, zoals staalplaatkwaliteit, veroudering en dikte.

In deze periode is thans de beproevingsmachine klaargekomen om de invloed van rekwegen anders dan de "normalen" te kunnen bestuderen.

CONVENTION N° 6210-55/0/10

TITRE

Le développement d'une méthode de mesure simple pour la détermination de la courbe limite d'emboutissage

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Le but de la recherche est le suivant :

- a. De développer une méthode de mesure qui réduise la dispersion au minimum. Il en résultera que les différentes qualités d'acier doux pourront être caractérisées par leur courbe.
- b. De simplifier la détermination de la courbe limite d'emboutissage de telle sorte qu'après quatre ou cinq essais simples et déterminants on trouve assez de combinaisons de déformations principales critiques pour tracer la courbe caractéristique de l'acier en question.
- c. De démontrer par quelques essais choisis que la courbe limite d'emboutissage est très utile pour la recherche et la pratique.

TRAVAUX EXECUTES

Door middel van rasters, bestaande uit cirkeltjes, is het mogelijk de hoofdrekken, die door vervorming optreden, te meten. De in de handel zijnde rasters zijn echter zo onnauwkeurig dat hiermee betrouwbare metingen nauwelijks mogelijk zijn. Het laboratorium van Hoogovens heeft daarom een moederraster getekend dat zeer nauwkeurig is. Afdrukken van dit raster zijn ter beschikking gesteld aan de leden van de onderzoekcommissie "Emboutissabilité".

Voor het berasteren van de plaat zelf is een methode ontwikkeld, die een combinatie is van de fotografische en de elektrochemische methode. De maatafwijking van het op de staalplaat ingeëtste cirkeltje is kleiner dan 1 %. Voor het aflezen van de tot ellipsen vervormde

cirkeltjes zijn verschillende replica-methoden ontwikkeld. Het is daardoor niet meer nodig direct vanaf het vervormde oppervlak de vervorming te bepalen. Vele afleesfouten worden hierdoor vermeden. Verder is zowel een grafische als analytische interpolatiemethode voor de bepaling van de grensvervormingskromme - begin zichtbare of locale insnoering - opgesteld. Beide methoden gaan ervan uit dat zodra deze locale insnoering begint er geen verdere plastische vervorming naast deze lokaal ingesnoerde zone meer optreedt, m.a.w. de toestand wordt dan gefixeerd. Beide methoden maken gebruik van dezelfde proefstrippen als die Nakajima gebruikt heeft voor de bepaling van de breukgrensvervormingskromme.

Aanvankelijk, zie rapport "Le développement d'une méthode de mesure simple pour la détermination de la courbe limite d'emboutissage", april 1971, werden deze krommen zonder speciale voorzorg bepaald. Later bleek dat voor een juiste bepaling de rekgradiënt over de kritische zone juist voor het insnoeren nul dient te zijn. Een zeer goede smering en niet te kleine proefstukken zijn dus noodzakelijk, zie rapport "Quelques aspects de la détermination de la courbe limite d'emboutissage - début striction". Het geheel is op z'n praktische waarde d.m.v. praktijkpersingen getoetst.

REF. F 3.4a

CONVENTION No 6210-55/1/762/01

TITEL

Fatigue et constructions types - "HTS low-cycle fatigue investigation"
(3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Comportement à la fatigue à faible fréquence d'aciers pour constructions navales à haute limite élastique entièrement soudés (traction alterné, traction programmée)

BEGÜNSTIGTE(R)

Centre Belge de Recherches Navales - Bruxelles

Forschungszentrum des Deutschen Schiffbaus - Hamburg

Institut de Recherche de la Construction Navale - Paris

Centro per gli Studi di Tecnica Navale - Roma

Nederlands Scheepstudiecentrum du T.N.O. - Delft

GEGENSTAND UND ZIEL

- a) Vergleich der Dauerfestigkeit zwischen dem Schiffbaustahl Gütegrad C (Zugfestigkeit 41-50 kp/mm², Streckgrenze min 25 kp/mm²) und einem höherfesten Schiffbaustahl (Mb-beruhigter Feinkornstahl, Streckgrenze min 40 kp/mm²)
- b) Festigkeitsverhalten der beiden genannten Stähle unter schiffbau-lichen Belastungen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Die vergleichenden Untersuchungen der Betriebsfestigkeit an Proben aus normalem und höherfestem Schiffbaustahl werden auf einem 60 Mp-Horizontal-Resonanz-Pulser, Bauart Schenck, durchgeführt. Die Versuchsdurchführung mit dem Schiffbaustahl, Gütegrad A, ist abgeschlossen. Es wurden im einzelnen durchgeführt:

- 1. Einstufenversuch (Wöhlerversuch) bei R = -1 mit den Lasthorizonten bei
 - a) $\sigma_N = 1225 \text{ kp/cm}^2$, bezogen auf den Anfangsquerschnitt der gekerbten Probe (siehe Zeichnung)
 - b) $\sigma_N = 1430 \text{ kp/cm}^2$
 - c) $\sigma_N = 1560 \text{ kp/cm}^2$
 - d) $\sigma_N = 1930 \text{ kp/cm}^2$

Die Steigerung der Zeitfestigkeitsgeraden liegt dabei zwischen $K = 9 \div 10$.

2. Einstufenversuch (Wöhlerversuch) bei $R = 0$ mit den Lasthorizonten bei

a) $\sigma_N = 1220 \text{ kp/cm}^2$

b) $\sigma_N = 1420 \text{ kp/cm}^2$

c) $\sigma_N = 1630 \text{ kp/cm}^2$

d) $\sigma_N = 1820 \text{ kp/cm}^2$

Die Steigerung der Zeitfestigkeitsgeraden liegt dabei zwischen $K = 6 \div 7$.

3. 1 Dreistufenversuch entsprechend einem von Prof. Nibbering angegebenen Kollektiv.

1000 Lastwechsel : $\sigma_{\min} = 0 \text{ kp/mm}^2$

$\sigma_{\max} = 15 \text{ kp/mm}^2$

50 Lastwechsel : $\sigma_{\min} = -3.5 \text{ kp/mm}^2$

$\sigma_{\max} = 18.5 \text{ kp/mm}^2$

1000 Lastwechsel : $\sigma_{\min} = 7.5 \text{ kp/mm}^2$

$\sigma_{\max} = 7.5 \text{ kp/mm}^2$

Dabei ergab sich bei einer Überlebenswahrscheinlichkeit von 50 % eine Bruchlastspielzahl von $N = 45\,360$.

4. 1 Betriebsfestigkeitsversuch mit einem in halblogarithmischer Darstellung linearen Spannungskollektiv bei einer Maximalspannung von $\sigma_{\max} = 2400 \text{ kp/cm}^2$.

Der Bruch trat bei $5,5 \cdot 10^6$ Lastspielen ein ($P_b = 50 \%$).

Die Versuche mit dem höherfesten Schiffbaustahl sind noch in Arbeit.

REF. F 3.4a

CONVENTION No 6210-55/2/762/02

TITRE

Fatigue et constructions types - "HTS low-cycle fatigue investigation"
(3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Comportement à la fatigue à faible fréquence d'aciers pour constructions navales à haute limite élastique entièrement soudés (flexion alternée)

BENEFICIAIRE(S)

Forschungszentrum des Deutschen Schiffbaus - Hamburg

Centre Belge de Recherches Navales - Bruxelles

Institut de Recherche de la Construction Navale - Paris

Centro per gli Studi di Tecnica Navale - Roma

Nederlands Scheepstudiecentrum du TNO - Delft

OBJECTIF

L'emploi en construction navale des aciers à haute limite d'élasticité - H.T.S. - s'est fortement développé ces dernières années pour des raisons constructives et économiques. Les Sociétés de Classification des navires ont approuvé son emploi, mais appliquent un coefficient "pour ignorance, le pénalisant ainsi".

Les essais actuels doivent lever le doute en ce qui concerne sa résistance à la fatigue cyclique et le danger éventuel de rupture fragile après fatigue.

TRAVAUX EXECUTES

Les essais se poursuivent normalement au Laboratoire de Résistance des Matériaux de l'Université de Gand.

La première partie des essais était déjà terminée:
"Propriétés mécaniques et métallurgiques des divers aciers"
(point B du programme belge de recherches).

La deuxième partie, point C, comprenant les essais de routine sur éprouvettes de dimensions réduites est actuellement aussi terminée.

La partie - A - se compose des essais de fatigue sur les structures navales, grandes poutres de 4 m de longueur, soumises à flexion cyclique lente. Trois poutres sur sept sont actuellement passées à l'essai. Le restant est actuellement en main et sera terminée dans le courant de cet été.

CONVENTION N° 6210-55-3/762/03

TITRE

Fatigue et constructions types - "HTS low-cycle fatigue investigation" (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")
- Comportement à la fatigue à faible fréquence d'aciers pour constructions navales à haute limite élastique entièrement soudés (traction alternée, traction programmée)

BENEFICIAIRE(S)

Forschungszentrum des Deutschen Schiffbaus - Hamburg
Centre Belge de Recherches Navales - Bruxelles
Institut de Recherche de la Construction Navale - Paris
Centro per gli Studi di Tecnica Navale - Roma
Nederlands Scheepsstudiecentrum du TNO - Delft

OBJECTIF

La part française de cette recherche en commun avec les 5 Instituts du Marché commun se rapporte à l'exécution d'essais de fatigue proprement dits (10^6 cycles) et d'essais de fatigue oligocyclique (10^5 cycles) sur éprouvettes simplifiées représentant des éléments de structures longitudinaux des fonds de navire dans le but de comparer leur comportement suivant qu'ils sont réalisés en acier ordinaire ou en acier HR. Ces éprouvettes schématisent deux types de structures, une ancienne, dont le comportement est bien connu, et une plus moderne. Ces structures correspondent aux essais sur grande structure effectués par la Hollande; le fait que les essais portent sur 52 éprouvettes permettra de mieux préciser les résultats obtenus sur les grandes structures. Ces essais viennent de se terminer et l'exploitation en est en cours.

TRAVAUX EXECUTES

Les essais de laboratoire viennent de se terminer. L'exploitation en est en cours.

La première conclusion qui s'en dégage est qu'il ne semble pas y avoir de différence très significative entre les aciers HR et ordinaires en fatigue dans les conditions de l'expérimentation.

REF. F 3. 4a

CONVENTION N° 6210-55/2/762/04

TITRE

Fatigue et construction types - "HTS low cycle fatigue investigation"
(3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")
- Comportement à la fatigue à faible fréquence d'aciers pour constructions navales à haute limite élastique entièrement soudés (flexion programmée Ac.Nb, flexion alternée Ac.Mn.Al).

BENEFICIAIRE(S)

Centre Belge de Recherches Navales - Bruxelles
Forschungszentrum des Deutschen Schiffbaus - Hamburg
Institut de Recherche de la Construction Navale - Paris
Centro per gli Studi di Tecnica Navale - Roma
Nederlands Scheepstudiecentrum du T.N.O. - Delft

OBJECTIF

Comportamento a fatica a bassi cicli di acciaio per costruzioni navali ad elevato limite di snervamento (36 Kg/mm²) mediante sperimentazione in laboratorio su modelli in vera grandezza rappresentanti un tipico corrente associato ad una striscia di fasciame ed intersecato da due traverse. I risultati saranno valutati per confronto con quelli già disponibili per modelli identici costruiti in acciaio normale.

TRAVAUX EXECUTES

Si sono costruite le travi di acciaio ad elevata resistenza Mn - Al.
Si sono costruiti i sistemi di vincolo delle travi (lo stesso sistema di vincolo serve per tutte le prove).
Si è iniziato il montaggio del sistema di vincolo e di applicazione del carico con relativa trave, e la strumentazione della stessa.
Per motivi di semplicità di applicazione del carico si è stabilito di iniziare la serie di prove con uno dei modelli in Acc. Mn - Al, da sottoporre a flessione alternata.
Si è montato quindi uno di questi modelli, che è stato convenientemente strumentato.
Sono in corso di esecuzione una serie di test statici atti a fornire indicazioni sulle zone di massima concentrazione delle tensioni, ai vari carichi.

CONVENTION N° 6210-55/6/762/06

TITRE

Fatigue et constructions types "HTS-low cycle fatigue investigation"
(3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")
- Comportement à la fatigue à faible fréquence d'aciers pour constructions navales à haute limite élastique entièrement soudés (traction programmée, traction alternée)

BENEFICIAIRE(S)

Centre Belge de Recherches Navales - Bruxelles
Forschungszentrum des Deutschen Schiffbaus - Hamburg
Institut de Recherche de la Construction Navale - Paris
Centro per gli Studi di Tecnica Navale - Roma
Nederlands Scheepsstudiecentrum du T.N.O. - Delft

OBJECTIF

Onderzoek van het gedrag van gelaste scheepsconstructie delen bij zodanig hoge belasting dat cyclisch plastische vermoeiing optreedt (low cycle fatigue). Vergelijking tussen de eigenschappen van constructies die respectievelijk van staal met hogere trekvastheid en van normaal scheepsbouw staal zijn vervaardigd.

TRAVAUX EXECUTES

Het eerste deel van het betreffende onderzoek is thans gereed.

Hierin zijn 5 van de in totaal 9 proefstukken betrokken.

In verband met de totale inspanning die dit soort onderzoek aan ware grote proefstukken toch reeds met zich meebrengt, is het onderzoek niet alleen beperkt tot het cyclisch plastische vermoeiingsaspect (low cycle fatigue) doch ook aangevuld met het gedrag van de constructie bij lagere temperatuur.

De resultaten van het eerste deel zijn samengevat in rapport no. 175 "Low cycle fatigue investigations with ship structural components made of higher strength steel" opgesteld door het Laboratorium voor Scheepsconstructies van de Technische Hogeschool te Delft.

Vergeleken met resultaten van gelijksoortig eerder uitgevoerd onderzoek aan proefstukken vervaardigd uit normaal scheepsbouwstaal bleek als eerste voorlopige conclusie geen duidelijke verbetering van de vermoeiingssterkte bereikbaar te zijn door de betreffende constructie uit te voeren in staal met hogere sterkte. Het is mogelijk dat de voortplanting van de vermoeiingsscheur minder snel plaats vindt in staal met hogere treksterkte.

Meer definitieve conclusies zullen echter pas mogelijk zijn indien alle proefstukresultaten bekend zijn.

CONVENTION No 6210-55/1/761/00

TITEL

Fatigue et constructions types (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Langzeitverhalten der Stähle und Dauerfestigkeitsversuche an querbeanspruchten Stumpfnähten mit kreuzenden Nähten.
- Das Verhalten von Baustählen höherer Festigkeit nach dem Feuerverzinken bei dynamischer Beanspruchung.

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

GEGENSTAND UND ZIEL

Ermittlung von statistisch gesicherten Dauerfestigkeitswerten an Schweißverbindungen mit kreuzenden Nähten und feuerverzinkten Schweißverbindungen. Kerbwirkung der Kreuzungsstelle, Einfluß der Längsnähte und des Feuerverzinkens bei verschiedenen Schweißformen und Stahlqualitäten.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

1. Vorhaben: Langzeitverhalten der Stähle und Dauerfestigkeitsversuche an querbeanspruchten Stumpfnähten mit kreuzenden Nähten.

Die im Rahmen der Untersuchung vorgesehenen Dauerfestigkeitsversuche an Prüfkörpern mit x-Naht und bzw. ohne Strichraupen wurden durchgeführt und zum Teil bereits ausgewertet. In keinem einzigen Fall ging der Dauerbruch von der Kreuzungsstelle der Naht aus.

Genauere Aussagen über die Kerbwirkung der Nahtkreuzung und den Einfluß der Längsnähte auf die Lebensdauer der Schweißverbindung lassen sich erst nach Abschluß der Auswertung machen.

2. Vorhaben: Das Verhalten von Baustählen höherer Festigkeit nach dem Feuerverzinken bei dynamischer Beanspruchung.

Die Dauerfestigkeitsversuche an feuerverzinkten Proben aus Stahl St 70 wurden abgeschlossen. Das Versuchsprogramm für den Stahl St 52-3 wurde mit Ausnahme der Wechsellastversuche mit feuerverzinkten Proben der Form K₄ verwirklicht. Den vorliegenden Ergebnissen lassen sich keine nachteiligen Auswirkungen des Feuerverzinkens auf die Biegewechselfestigkeit entnehmen.

CONVENTION N° 6210-55/3/763/00

TITRE

Fatigue et constructions types (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")
- Aptitude à la déformation plastique des assemblages soudés

BENEFICIAIRE(S)

Institut de Soudure - Paris

OBJECTIF

Etude des effets de diverses entailles géométriques, en conjugaison avec ceux découlant de la nuance d'acier considérée et des conditions de soudage choisies.

Il s'agit d'un prolongement de l'étude 6210/45/3/032, appliqué à des aciers à caractéristiques mécaniques plus élevées : XC 35 - SE 55 - PM 24 - NAXTRA - T1 (AFBQ).

TRAVAUX EXECUTES

Les travaux prévus ont été achevés en 1972.

Ils comportaient :

- a) Essais de flexion sur 4 types d'éprouvettes
 - 1. dépôt longitudinal
 - 2. dépôt transversal
 - 3. barrette longitudinale
 - 4. barrette transversale

en épaisseur 10 mm pour tous les aciers étudiés
et épaisseur 30 mm pour XC 35 - SE 55 - PM 24.

Ces essais sont effectués à la température de 0° C.

- b) Essais de traction sur 1 seul type d'assemblage, comportant une cloison traversante
en épaisseur 10 mm pour XC 35 - SE 55 - PM 24.

Ces essais ont également été effectués à la température de 0° C.

- c) Essais de choc (chariot de 57 kg à 60 km/h environ) sur des éprouvettes comportant une soudure bout à bout de 2 plaques d'épaisseurs différentes (6 et 8 mm), le cordon étant disposé soit longitudinalement, soit transversalement.

Ces essais ont été effectués à l'ambiante.

Les essais a, b sont les prolongements exacts de ceux effectués précédemment et visant à obtenir les mêmes informations concernant les aciers visés, que celles obtenues antérieurement sur aciers E 24 et E 36.

REF. F 3.5

CONVENTION No 6210-55/1/510

TITEL

Mécanique de la rupture (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Rapport entre la tenacité et les critères habituels de rupture fragile

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Institut de Soudure - Paris

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Koninklijke Nederlandsche Hoogovens en Staalfabrieken - IJmuiden

GEGENSTAND UND ZIEL

Bei der Beurteilung der Gebrauchseigenschaften der Stähle haben in den letzten Jahren die Verfahren zur Ermittlung des kritischen Spannungsintensitätsfaktors K_{Ic} , die auf Überlegungen der Bruchmechanik beruhen, erheblich an Bedeutung gewonnen. Daneben haben zahlreiche weitere Verfahren in die Werkstoffprüfung Eingang gefunden, in denen das Bruchverhalten der Stähle unter betriebsnahen Bedingungen untersucht wird. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll versucht werden, zwischen den nach verschiedenen Verfahren erhaltenen Ergebnissen Zusammenhänge aufzudecken und sie zu den Ergebnissen der herkömmlichen Kerbschlagzähigkeitsprüfung in Beziehung zu setzen, um den Anschluß an die damit gewonnenen Erfahrungen herzustellen. Von besonderer Bedeutung ist dabei auch die Frage, inwieweit sich die Verfahren der Bruchmechanik auf Stähle mit verhältnismäßig gutem Formänderungsvermögen anwenden lassen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Im vergangenen Berichtsjahr fielen folgende Versuchsergebnisse an:

1. Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurven, ermittelt bei 1 und 5 m/s Schlaggeschwindigkeit an Scharfkernproben mit Stift für den Stahl StE 70, 30 und 60 mm dick, sowie an Scharfkernproben ohne Stift für die Stähle St 52.3, StE 47 und StE 70, jeweils 30 mm dick.
2. Kritische Bruchzähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur für die Stähle St 52.3, StE 47, StE 70 und 22 NiMoCr 37, jeweils 60 mm dick.

3. Ergebnisse an Zugversuchen an Großproben aus dem Stahl 22 NiMoCr 37, 30 mm dick.
4. Ergebnisse aus Versuchen nach Robertson aus dem Stahl 22 NiMoCr 37 in den Dicken 10, 30, 60 und 100 mm.
5. Kritische Bruchzähigkeit und kritische Rißaufweitung bei dem Stahl St 37.3 bei verschiedenen Temperaturen in Abhängigkeit von der Korngröße. Untersucht wurden Proben mit den mittleren Korndurchmessern 18, 72 und 108 μm . Mit zunehmender Kornvergrößerung nahm die kritische Bruchzähigkeit ab und die Übergangstemperatur zu.

CONVENTION N° 6210-55/2/520

TITRE

Mécanique de la rupture (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Etudes des produits (méthodologie, caractérisation)
- Etude du joint soudé (méthodologie, caractérisation, étude d'élément en vraie grandeur)

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Institut de Soudure - Paris

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

L'objectif essentiel des recherches sur la mécanique de rupture est de faire progresser les connaissances sur le sujet afin de permettre la promotion de l'emploi des aciers. La recherche comporte 3 parties : étude des produits, étude du joint soudé, étude d'éléments en vraie grandeur.

Une première phase consiste en une étude approfondie des essais de mécanique de rupture, en approfondissant divers problèmes tels que : fabrication en série des éprouvettes, procédé de mesure, effet dimensionnel et effet vitesse, influence de l'acuité d'entaille, moyens de contrôle de la progression d'une fissure.

D'autre part, des essais de caractérisation seront effectués sur des aciers de différentes nuances ainsi que sur des joints soudés réalisés suivant différents procédés.

TRAVAUX EXECUTES

- a) On a comparé les résultats d'essais de résilience et de mécanique de rupture (essais COD) sur quatre aciers à l'état de livraison (normalisé), ainsi qu'à l'état formé à chaud et à froid (procédé à haute énergie).

Du point de vue qualitatif, les deux types d'essais donnent lieu au même classement. Cependant, l'essai COD permet en plus de mettre en évidence qu'une bonne résilience n'est pas toujours une garantie

de ductilité à l'entaille. Une grande prudence s'impose donc dans l'utilisation des résultats Charpy V pour la conception d'une construction dans laquelle le critère d'amorçage doit être pris en considération.

- b) Quelques essais ont été effectués sur des grandes éprouvettes (300 x 380 mm) soudées en 30 mm d'épaisseur. Ces essais nous ont permis de constater que les COD mesurés sur des petites éprouvettes correspondent à ceux mesurés sur les grandes éprouvettes à condition de considérer, dans celles-ci, l'apparition de la première crique et non la rupture finale.

D'autre part, ces essais sur grandes éprouvettes nous ont conduit à examiner les relations possibles entre COD, déformation globale et dimension de défaut, en nous référant notamment à la relation proposée par Burdekin. L'interprétation des résultats pose cependant un certain nombre de problèmes, notamment en ce qui concerne le choix du COD critique (première crique ou rupture complète). Des essais complémentaires seront nécessaires pour éclaircir des points.

- c) Des essais Charpy V et COD ont été exécutés sur différentes zones de joints soudés (métal de base, métal déposé, ligne de fusion, 2 mm de la ligne de fusion), les soudures étant réalisées en manuel et en automatique.

Qualitativement, les deux types d'essais donnent lieu au même classement; on constate cependant que les courbes COD s'étalent sur une plus large gamme de température que les courbes Charpy; d'autre part, avec les essais COD, la courbe relative au métal de base s'écarte nettement des autres, alors qu'elle s'interpénètre avec elles si on considère les essais Charpy.

CONVENTION N° 6210-55/3/530

TITRE

Mécanique de la rupture (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Etude par la mécanique de la rupture de la ténacité et de la fissuration en fatigue d'aciers de construction - résistance moyenne fournis en forte épaisseur"

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Institut de Soudure - Paris

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Meilleure connaissance de la ténacité d'aciers à résistance moyenne fournis en forte épaisseur et utilisés pour l'industrie nucléaire ou chimique.

Etude de l'influence du traitement thermique sur un acier de type 2,25 % Cr - 1 % Mo.

TRAVAUX EXECUTES

Les travaux effectués en 1971 et 1972 peuvent se diviser en deux parties :

- Mise au point des techniques permettant d'usiner les éprouvettes, d'obtenir des fissures de fatigue, de mesurer automatiquement des vitesses de fissuration et de rompre des éprouvettes d'épaisseur 100 et 150 mm à toutes les températures.

Nous avons, en particulier, mis au point un suiveur de fissures par ultrasons permettant d'obtenir directement la vitesse de fissuration da/dN (a : longueur de fissure, N : nombre de cycles) en fonction de ΔK .

- Mesures de K_{IC} et de $\frac{da}{dN}$ sur les aciers.

On a pu ainsi montrer que la courbe K_{IC} -température présentait un niveau haut de K_{IC} , donc qu'elle avait une forme semblable à la courbe résilience-température.

On a vérifié également que la fragilisation due aux traitements thermiques était mise en évidence d'une manière aussi nette en mécanique de la rupture que par les essais de rupture fragile classiques.

CONVENTION N° 6210-55/0/50

TITRE

Mécanique de la rupture (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Etablissement des conditions dans lesquelles le concept du C.O.D. étudié en milieu homogène peut s'adapter aux milieux hétérogènes que constituent les assemblages

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Institut de Soudure - Paris

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Le but de la recherche est de déterminer par l'analyse du COD l'influence :

- sur l'amorçage des ruptures, des hétérogénéités mécaniques dues au soudage, au voisinage de fonds d'entailles artificielles fines;
- sur le comportement en rupture fragile des conditions de soudage et de traitements des aciers, des défauts aigus pouvant affecter les soudures.

TRAVAUX EXECUTES

1. Réception des matériaux utilisés :

- Analyses chimiques
- Essais mécaniques
- Variations de R_e - R_m et $A\%$ en fonction de la température

2. Préparation des soudures :

2.1. Types des soudures :

- Soudures verticales sous laitier
- Soudures sous flux électroconducteur
- Soudures à l'arc manuel avec électrodes enrobées

2.2. Caractéristiques des soudures :

- Electriques
- Thermiques
- Mécaniques

3. Préparation d'éprouvettes pour la mesure de l'ouverture de fissure (COD)

3.1. Méthode de fissuration de l'Institut de Soudure

3.2. Possibilités et avantages de la méthode

4. Mesure des valeurs COD sur joints soudés

Courbes COD/température - Courbes des pénétrations de fissures

4.1. Métal fondu (Etat brut
(Etat normalisé avant et après fissuration

4.2. Zone affectée thermiquement

5. Résultats essentiels :

- La décarburation du fond de fissure obtenue par la normalisation d'éprouvettes après fissuration est favorable à une augmentation de l'ouverture critique de fissure.
- Dans le cas d'éprouvettes prélevées dans la zone affectée thermiquement d'une soudure verticale sous laitier on constate qu'un traitement thermique de normalisation ne provoque pas une augmentation de l'ouverture de fissure aussi favorable que sur le métal fondu.
- Dans le cas d'éprouvettes présentant une forte déformation plastique lors de l'essai COD, il y a difficultés de déterminer sur un simple diagramme Effort-déformation, le point d'amorçage de la croissance stable. Donc nécessité d'étudier une méthode permettant une plus grande précision sur la détermination du point d'amorçage.

REF. F 3.5

CONVENTION N° 6210-55/6/560

TITRE

Mécanique de la rupture (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers"

- Mise au point d'un modèle de référence permettant de déterminer, à partir des valeurs de la tenacité, soit la longueur de fissure admissible, soit la sollicitation mécanique admissible, selon que l'une ou l'autre de ces valeurs soit connue.

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Institut de Soudure - Paris

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Het vaststellen van de mate waarin de taaiheid van staal tijdens de constructie (vervormen, lassen) en tijdens het gebruik van de gereede constructie (veroudering) achteruitgaat.

TRAVAUX EXECUTES

Door middel van maximale kerfbodemverbreding-metingen (COD-metingen) is de taaiheid onderzocht van in één laag gelaste verbindingen in Fe37 en Fe52 in drie dikten, 10, 20 en 30 mm. Toegepast werden een electrogaslasproces en onderpoederdek lassen met resp. een normale en een hoge waarde voor de warmte-inbreng. Deze lasverbindingen werden tevens onderzocht d.m.v. kerfslagproeven, hardheidsmetingen en structuuronderzoek.

Het bleek dat de laagste COD vrijwel steeds gevonden werd op of onmiddellijk naast de smeltlijn. In het 30 mm dikke Fe52 gelast met de hoogste heat-input bleek de COD in het niet getransformeerde gedeelte van de door de laswarmte beïnvloede zone (ca 40 mm van de smeltlijn) echter net zo laag te zijn als in de smeltlijn zone. Een typische waarde voor de laagste gemeten COD is in alle gevallen 0.1 mm (bij -20° C).

Bij het begeleidende fractografisch onderzoek kon geen verband vastgesteld worden tussen de COD en de z.g. "stretched zone".

CONVENTION No 6210-55/1/610

TITEL

Fluage des aciers pour emploi à chaud (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Optimisation des propriétés de fluage des aciers réfractaires
- Influence du facteur temps sur les caractéristiques de résistance et de formage pour les aciers réfractaires à température peu élevée.

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

1. Optimierung des Zeitstandverhaltens warmfester Stähle

Einfluß der Wärmebehandlung und der chemischen Zusammensetzung auf das Zeitstandverhalten von Chrom-Molybdän-Stählen mit 0,1 bis 0,2 % C, 0 bis 2,5 % Cr, 0,3 bis 1 % Mo und 0,003 bis 0,02 % N bei 500 bis 600°C sowie von Chrom-Molybdän-Vanadin-Stählen mit 0,2 bis 0,4 % C, rd. 1 % Cr, 0,6 bis 1 % Mo, 0 bis 0,7 % Ni und rd. 0,3 % V bei 450, 500 und 550°C.

Einfluß der chemischen Zusammensetzung und des Reinheitsgrades auf das Zeitstandverhalten und die Verformbarkeitseigenschaften warmfester austenitischer Stähle.

2. Zeitabhängigkeit der Festigkeits- und Verformbarkeitskennwerte verschiedener warmfester Stähle bei mäßig erhöhten Temperaturen

Ermittlung der Dehngrenzen und der Zugfestigkeit sowie der 10.000 h-Zeitdehngrenzen und der 10.000 h-Zeitstandfestigkeit verschiedener Stähle im Bereich zwischen Raumtemperatur und 400°C.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

1. Optimierung des Langzeitverhaltens warmfester Stähle

1.1 Chrom-Molybdän-Stähle

An einer Schmelze des Stahles 10 CrMo 9 10 wurde die Zeitstandfestigkeit bei 500, 550 und 600°C in Zeitstandsversuchen bis über 10.000 h nach Umwandlung in der Ferritstufe ermittelt. Die Umwandlung wurde durch unterschiedliche Temperaturführung bei der Abkühlung

nach dem Austenitisieren bei 975°C herbeigeführt, und zwar einmal durch kontinuierliches Abkühlen auf 600 bis 690°C, zum anderen während ein- bis dreistündigem Halten bei 700°C. Zur Deutung der festgestellten Unterschiede im Zeitstandverhalten sind noch eingehende elektronenmikroskopische Untersuchungen der Ausscheidungsvorgänge erforderlich.

Die Zeitstandversuche bei 500 oder 600°C an acht Versuchsschmelzen wurden bis durchschnittlich 10.000 bis 17.000 h weitergeführt.

1.2 Chrom-Molybdän-Vanadin-Stähle

An je einer Schmelze der Stähle 21 CrMoV 47 und 40 CrMoV 47 sowie 28 CrMoNiV 47 und 28 CrMoNiV 49 wurde der Einfluß der Abkühlgeschwindigkeit nach dem Austenitisieren und der Anlaßbedingungen auf die Gefügeausbildung und die mechanischen Eigenschaften bei Raumtemperatur ermittelt. Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubilder wurden aufgestellt. Auffällig war der hohe Anteil an Zwischenstufengefüge schon bei Ölabschreckung verhältnismäßig dünner Abmessungen. Die Übergangstemperatur der Kerbschlagzähigkeit wurde mit zunehmenden Gehalten an Zwischenstufengefüge beträchtlich angehoben. Auf die Zeitstandfestigkeit sollte sich der Gehalt an Zwischenstufengefügen jedoch nicht nachteilig auswirken. Mit den Zeitstandversuchen bei 450, 500 und 550°C an glatten und gekerbten Proben wurde begonnen. Dabei wurde je Schmelze bis zu 5 verschiedene Ausgangszustände mit unterschiedlichen Gehalten an Martensit, Zwischenstufengefüge, Perlit und Ferrit gewählt. Diese Ausgangszustände entsprechen Gefügezuständen die bei betrieblicher Fertigung handelsüblicher Erzeugnisse zu erwarten sind.

1.3 Austenitische Chrom-Nickel- und Chrom-Nickel-Molybdän-Stähle

Die Zeitstandversuche an acht Schmelzen warmfester austenitischer Chrom-Nickel- und Chrom-Nickel-Molybdän-Stähle mit verschiedenen Korngrößen und unterschiedlichen Gehalten an Kohlenstoff und Stickstoff im Temperaturbereich 400 bis 800°C wurden fortgesetzt. Die gegenwärtig längsten Laufzeiten betragen bis zu 30.000 h.

Zur Ermittlung der Bruchmechanismen wurden die Bruchflächen gekerbter und ungekerbter Zeitstandproben metallographisch und mit dem Rasterelektronenmikroskop untersucht. Während sich oxydische Einschlüsse nachteilig bemerkbar machen, konnte ein Einfluß sulfidischer Einschlüsse nicht nachgewiesen werden. Mit der Untersuchung der Ausscheidungsvorgänge wurde begonnen.

2. Zeitabhängigkeit der Festigkeits- und Verformbarkeitskennwerte von warmfesten Stählen bei mäßig erhöhten Temperaturen

Die laufenden Zeitstandversuche an den Stählen St 35.8, 21 CrMoV 5 11 und X 6 CrNiMo 17 13 wurden fortgesetzt. Bei den Stählen St 35.8 und X 6 CrNiMo 17 13 wurden weitere Zeitstandversuche mit laufender Dehnungsmessung bei Raumtemperatur durchgeführt. Bei Zugspannungen bis 80 % der Streckgrenze oder 0,2 %-Dehngrenze ergab sich nur eine geringe Dehnungszunahme durch Kriechen, bei Zugspannungen von rd. 90 % der Streckgrenze oder 0,2 %-Dehngrenze wurden dagegen schon nach 20 h 1 bis 2 % Kriechdehnung festgestellt. Danach nahm die Kriechgeschwindigkeit langsam ab, sie blieb bei dem austenitischen Stahl jedoch größer als bei dem ferritischen Stahl.

CONVENTION N° 6210-55/3/630

TITRE

Fluage des aciers pour emploi à chaud (3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

- Etude de l'influence de faibles quantités d'éléments d'addition sur les propriétés à chaud des aciers au C microalliés (Nb et/ou V) habituellement utilisés aux températures voisines de l'ambiante.

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Etude de l'influence de faibles quantités d'éléments d'addition sur les propriétés à chaud des aciers au Carbone microalliés (Nb et/ou V) habituellement utilisés aux températures voisines de l'ambiante afin d'étendre leur emploi à la construction d'appareils à pression fonctionnant à température élevée.

On fera une comparaison entre aciers classiques et aciers à dispersoïdes par deux séries d'essai :

- caractéristiques mécaniques à chaud
- caractéristiques de fluage de longue durée dans des conditions choisies pour permettre la confrontation des résultats.

TRAVAUX EXECUTES

Pour réaliser la comparaison des caractéristiques à chaud dans des conditions intéressantes il nous a paru nécessaire de sélectionner les coulées ayant à l'état normalisé des caractéristiques de traction comparables, à la température ambiante. C'est ainsi que trois coulées industrielles laminées en tôles ont été retenues; elles ont les compositions chimiques suivantes :

Acier C Mn calmé Al	Acier C Mn + Nb Semi-calmé	Acier C Mn + Nb calmé Al
C 0,20	0,19	0,17
Mn % 1,44	1,17	1,24
Si % 0,38	0,05	0,30
S % 0,024	0,019	0,017
P % 0,035	0,031	0,030
Nb % -	0,037	0,025
Al % 0,065	-	0,056
N % 0,009	0,007	0,008

Ce choix devrait permettre d'apprécier à la fois l'influence de l'addition de Nb et celle du calmage qui l'a précédée.

On a déterminé les caractéristiques de traction de ces aciers à des températures comprises entre 20°C et 450°C puis on a entrepris des essais de rupture par fluage à 400°C, 450°C et 500°C. Ces essais sont actuellement en cours et seuls ceux réalisés sous de fortes charges sont parvenus à rupture.

On peut déjà constater qu'aux trois températures d'essais adoptées, l'acier semi calmé + Nb donne généralement les meilleurs résultats alors que l'acier calmé Al + Nb donne les moins bons résultats mais dans ce dernier cas il faut noter que ce métal présente des caractéristiques de résistance légèrement inférieures à celles des deux autres aciers.

CONVENTION N° 6210-55/4/440

TITRE

Aciers à propriétés physique particulières : tôles magnétiques
(3ème programme "Propriétés d'emploi des aciers")

BENEFICIAIRE(S)

Istituto Galileo Ferraris - Torino

OBJECTIF

Studio dell'origine delle perdite anomale e possibilità di controllare il loro valore in relazione alle diverse caratteristiche dei materiali

TRAVAUX EXECUTES

E' stato effettuato un lavoro di progettazione e realizzazione di apparecchiature, nuovi metodi di misura, preparazione di materiali, e misure sui materiali stessi, per contribuire a chiarire alcuni aspetti dell'origine delle perdite anomale nei laminierini magnetici, e per ottenere quindi alcune indicazioni sulla possibilità di controllare meglio le perdite stesse. E' stata inizialmente effettuata una ampia analisi critica della letteratura esistente, ed è quindi stato realizzato un alimentatore di potenza a forma d'onda controllata, e messo a punto un nuovo metodo di misura per la determinazione della potenza fino a frequenze molto piccole.

Utilizzando tale alimentatore e il nuovo metodo di misura, sono state determinate le curve di potenza perduta per ciclo P/f in funzione della frequenza f tra 0 e 80 Hz circa su materiali diversi : FeSi direzionale, cubico, isotropo ; Fe e Ni puri; Mumetal ; FeNi 50-50. Questi materiali sono stati in buona parte preparati direttamente in laboratorio. Le misure confermano che l'accesso anomalo di perdita dinamica, rispetto al valore calcolato supponendo idealmente assente ogni struttura a domini, è in genere minore, a parità di altre condizioni, in provini con grano fine. Inoltre si dimostra che in seguito a incrudimento tale eccesso diminuisce. Cio' è in accordo con la teoria che prevede perdite dinamiche minori al decrescere della spaziatura dei domini. In relazione alla anomalia di non linearità (deviazione della curva di perdita per ciclo in funzione di f dall'andamento rettilineo teorico), i risultati ottenuti mostrano che essa non esiste su tutti i materiali, essendo assente su FeSi isotropo, Fe e Ni puri, Mumetal. Essi indicano tuttavia che tale anomalia non è caratterizzata dalle sole strutture cristalline orientate, essendo presente anche su FeNi 50-50 sensibilmente isotropo. Sperimentalmente si osserva che l'anomalia di non linearità tende a scomparire in seguito a incrudimento. Dal confronto dei dati relativi a provini con e senza trasferimento, si conclude che non esiste una correlazione diretta tra anomalie e caratteristiche del rumore Barkhausen. Anche in base all'indipendenza delle misure statiche dalla velocità di variazione del flusso, si conferma che le anomalie sono legate al moto delle pareti di Bloch. L'assenza di anomalie sul Mumetal conferma ragionevolmente che in assenza di una vera struttura a domini (in tale materiale l'energia magnetocristallina

e la magnetostriazione sono sensibilmente nulle) le anomalie stesse tendono a scomparire.

I risultati sono discussi in base ad un ampio esame della letteratura. In particolare si nota che la teoria che spiega l'anomalia di non linearità come dovuta ad una variazione del numero di pareti con la frequenza, deve essere opportunamente modificata, tenendo conto dei vincoli che limitano la libertà di variazione delle strutture di domini con la frequenza, per poter giustificare l'assenza o la sparizione dell'anomalia di non linearità osservate su vari materiali.

In conclusione si ottengono da un punto di vista tecnico alcune più precise indicazioni sull'effetto sulle anomalie delle principali variabili metallurgiche, quali tessitura cristallina, dimensione del grano, deboli inclusionsi.

CONVENTION No 6210-85/1/101

TITEL

Comportement au fluage des joints soudés

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Gezondheidsorganisatie Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek - Delft

GEGENSTAND UND ZIEL

Untersuchung des Kriechverhaltens von Schweißverbindungen der Stähle 10 CrMo 9 10 und X 6 CrNiMo 17 13. An Proben quer zur Schweißnaht ist das Gesamtverhalten der Verbindungen zu prüfen. An Proben parallel zur Schweißnaht soll das Kriechverhalten des Grundwerkstoffs, der wärmebeeinflussten Zone und des Schweißgutes getrennt ermittelt werden.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Ausarbeitung der Liefervorschriften für die Grundwerkstoffe, der Vorschriften für die Herstellung der Schweißverbindungen, der Abnahmevorschriften und des Prüfplanes.

Einholen von Angeboten der Lieferwerke und Abnahmegesellschaften.

REF. F 4.6

CONVENTION No 6210-85/2/201

TITRE

Comportement au fluage des joints soudés

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Gezondheidsorganisatie Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek - Delft

OBJECTIF

Le but de la recherche est de déterminer, au moyen d'essais de fluage, le comportement à haute température des diverses zones de joints soudés, d'une part, d'un acier ferritique de la nuance 10 CR Mo 9.10 en épaisseur de 80 mm et, d'autre part, d'un acier austénitique de la nuance X 6 Cr Ni Mo 17.13 en épaisseur de 50 mm.

TRAVAUX EXECUTES

Les travaux réalisés par le groupe de travail composé des divers participants à la recherche commune ont consisté en la mise au point des principales modalités du programme d'essai, à savoir:

- Le choix des nuances d'aciers, épaisseurs et dimensions.
- l'établissement des spécifications techniques
 - de livraison des aciers,
 - de soudage des coupons,
 - de contrôle des soudures
- Le choix des nombres, types et opposition de prélèvement des éprouvettes de fluage.
- La détermination des conditions techniques relatives à l'obtention d'éprouvettes à structures simulées.
- La définition des conditions d'essais de fluage; tensions, températures, durée et l'établissement des spécifications techniques relatives à ces essais.
- La répartition des éprouvettes d'essais par pays et laboratoires participants.

CONVENTION N° 6210-85/6/601

TITRE

Comportement au fluage des joints soudés

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

Nijverheidsorganisatie TNO - Den Haag

OBJECTIF

Bepalen van het kruipgedrag van gelaste verbindingen van twee verschillende staalsoorten (austenitisch staal 316 en ferritisch staal 2¹/4Cr1Mo).

TRAVAUX EXECUTES

In 1972 zijn alleen voorbereidende werkzaamheden verricht :
het opstellen van beproevingsprogramma, beproevingsprotocollen en
het aanvragen van offertes voor levering van materiaal, voor het
lassen van de proefstukken en voor de controles.

In Nederland zijn tussen de deelnemende laboratoria (Metaalinstituut
TNO en het Laboratorium voor Metaalkunde van de Technische Hogeschool
Delft) afspraken gemaakt over de uitvoering van het onderzoek en de
verdeling van de werkzaamheden. Het eigenlijke onderzoek is nog niet
aangevangen.

METALLURGIE PHYSIQUE

METALLPHYSIK

PHYSICAL METALLURGY

CONVENTION N° 6210-49/2/011

TITRE

Le comportement des solutions solides de produits ferreux en fluage et relaxation

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

OBJECTIF

La recherche vise à l'identification des mécanismes responsables à l'échelle atomique, de la déformation plastique à haute température de produits ferreux. L'influence de paramètres tels que composition chimique, température, sur les mécanismes de déformation, sera également étudiée.

Une telle étude doit permettre d'aboutir à une meilleure compréhension de la résistance au fluage des matrices métalliques et constitue une approche du problème de la résistance à chaud des aciers.

TRAVAUX EXECUTES

La recherche a pour but l'étude de l'effet du durcissement de solution solide sur la résistance à la déformation de solutions solides du système Fe-Ni-Cr. Ces solutions solides sont du type Fe-23Ni, avec des teneurs en chrome comprises entre 0 et 24 %, et sont austénitiques à la température des essais, c'est-à-dire entre 750 et 900°C.

En vue d'analyser le mécanisme de déformation et de déterminer la loi de déformation plastique, nous avons utilisé outre les essais de fluage conventionnel et de traction, les techniques de fluage différentiel, de relaxation de tension et de déchargement-relaxation.

L'utilisation des essais de relaxation de tension de déchargement-relaxation nous a permis de déterminer les variations du volume d'activation et de la contrainte interne vis-à-vis de la contrainte appliquée. L'emploi de ces techniques n'est possible que grâce à l'utilisation d'un artifice assez simple : la stabilisation de la contrainte appliquée qui nous permet d'obtenir, à une contrainte fixée, une structure équivalente à celle développée en déformation stationnaire.

Les valeurs mesurées du volume d'activation montrent qu'il est possible de rendre compte de la déformation plastique stationnaire sur la base d'un déplacement de dislocations-vis crantées. Dans le cadre de ce mécanisme, l'influence de la contrainte appliquée sur la vitesse de déformation stationnaire peut être décrite à l'aide de trois paramètres :

- la contrainte interne développée par la déformation est une fonction croissante de la contrainte appliquée. Cette dépendance de la contrainte interne vis-à-vis de la contrainte appliquée est identique pour tous les métaux purs et solutions solides;
- la densité de dislocations mobiles est une fonction croissante de la contrainte appliquée; cependant, pour des contraintes appliquées élevées, la densité de dislocations mobiles est constante, quelle que soit la contrainte appliquée;
- l'interdistance entre crans diminue rapidement avec la contrainte appliquée. Cette interdistance résulte d'un équilibre entre création et annihilation de crans pour les solutions solides étudiées.

Nous avons cherché à relier la notion de volume d'activation avec une caractéristique intrinsèque de matériau par exemple : l'énergie de faute d'empilement.

Dans ce but, l'énergie de faute des diverses solutions solides étudiées, a été déterminée par la méthode de l'étude des textures de déformation obtenues par laminage. Les résultats montrent une décroissance importante de l'énergie de faute d'empilement avec des additions croissantes de chrome. Il en résulte que des additions de chrome, à teneur constante en nickel, entraînent une diminution du volume d'activation ou une diminution de l'énergie de faute d'empilement, c'est-à-dire finalement une diminution de la vitesse de déformation secondaire et donc un durcissement de la solution solide.

REF. G 1.5 b

CONVENTION N° 6210-49/2/022

TITRE

Etude de la surface du fer et de l'acier - Réaction à l'environnement

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

OBJECTIF

Cette recherche vise à définir la composition chimique de la surface d'un solide. Des techniques nouvelles telles que la microsonde ionique, permettent actuellement l'étude de couches superficielles ayant une épaisseur comprise entre quelques centaines et quelques millièmes d'angströms.

TRAVAUX EXECUTES

L'étude de la surface d'un solide est basée sur l'interaction entre un faisceau primaire d'ions et la surface de ce solide. Sous l'impact des ions primaires, le solide est progressivement érodé et émet des particules secondaires, à savoir des atomes neutres et des ions. Ces derniers ions, appelés ions secondaires, peuvent être accélérés et analysés à l'aide d'un spectromètre de masse.

Dans une première étape, notre étude a visé à une meilleure connaissance des phénomènes de pulvérisation cathodique et d'ionisation secondaire dans le cas des aciers. Pour les échantillons polycristallins, ces phénomènes n'avaient pas été étudiés. L'utilisation d'un canon du type duo-plasmatron, nous a permis de réaliser des cratères de pulvérisation ayant un fond plat, ce qui assure une bonne résolution en profondeur par la construction de courbes de distribution de concentration, en fonction de la pénétration dans le solide. De plus, la vitesse de pulvérisation peut être ajustée entre 0,1 et 20 Å/sec.

Notre travail a également été orienté vers l'étude de l'ionisation secondaire. Il est actuellement établi que l'intensité de l'émission ionique secondaire d'un élément donné est en fonction non seulement de la concentration en cet élément, mais également de la nature de la liaison chimique dans laquelle cet élément est engagé. A titre d'exemple, l'intensité ionique de l'élément fer donnée par un oxyde de fer est supérieure à celle donnée par le métal pur. Cette

observation compromettrait sérieusement toute possibilité d'analyse quantitative des couches d'oxyde sur des aciers. Nous avons été amenés à développer une méthode originale d'analyse qui fait appel à une oxydation volontaire de la surface analysée, à l'aide d'une microfuite d'oxygène dans la chambre-objet. Dans ces conditions, nous avons pu montrer qu'il était possible d'analyser quantitativement tant des couches métalliques que des couches d'oxydes.

En vue d'obtenir des analyses quantitatives, des courbes de calibration ont été établies pour les systèmes binaires Fe-Cr, Fe-Ni, Fe-Mn, Fe-Si, Fe-Mo et Fe-C, à l'aide d'un ensemble de standards très soigneusement homogénéisés.

Dans une seconde étape, nous avons plus particulièrement étudié :
- l'évolution de la surface d'une tôle d'acier LD prise à diverses étapes de sa transformation, à savoir après laminage à froid ou après recuit en bobine sous atmosphère $N_2 + 10 \% H_2$.

Les examens montrent que, au cours du recuit sous atmosphère de protection, on observe de très importantes ségrégations en Mn, Cr, P, O, Si, Al, K, Na, C, dans des couches superficielles ayant une épaisseur de l'ordre de 1000 Å. Les teneurs "apparentes" en Mn et Cr sont respectivement de l'ordre de 20 % et 5 %. La possibilité de construire des images ioniques donnant la répartition spatiale de ces éléments dans une couche de 100 Å montre que ces éléments sont principalement ségrégés aux joints de grain.

- les couches minces obtenues par oxydation à haute température d'aciers inoxydables ferritiques ou austénitiques.

Pour les aciers ferritiques, on observe la formation de deux sous-couches : une sous-couche externe qui est un oxyde contenant environ 5 % de chrome et une sous-couche interne enrichie en chrome, silicium et manganèse et qui correspond à la formation de spinelles du type $FeO Cr_2O_3$, $MnO Cr_2O_3$, $2FeO SiO_2$.

Due à la migration de chrome vers la surface, on observe une importante déchromisation de la matrice métallique sous-jacente dans une couche de 3000 Å.

Pour les aciers austénitiques, on observe également deux sous-couches; de plus le nickel diffuse vers la matrice métallique et forme une zone sous-jacente enrichie en nickel.

CONVENTION No 6210-62/1/011

TITEL

Aciers soudables à dispersoïdes (Métallurgie physique)

- Influence de la précipitation sur le grosseur du grain et les propriétés mécaniques

BEGÜNSTIGTE(R)

Max-Planck-Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Sté Creusot-Loire - Le Creusot

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Einfluß von Dispersoid bildenden Elementen, vorwiegend Al, Ti, N und C, auf die Kinetik von Rekristallisation und Kornwachstum im Austenit. Folgen für die sekundäre Gefügeausbildung und die mechanischen Eigenschaften. Untersuchung von Art und Verteilung der entstehenden dispersoiden Phasen und ihre Wirkung auf die Verfestigung. Verformbarkeit von verschiedenartigen Gefügen gleicher Festigkeit.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf der Bestimmung des Kornwachstum als Folge unterschiedlicher Wärmebehandlungen und Verformungen. Das Kornwachstum der untersuchten Stähle ist abhängig von der Art der wirksamen Dispersoide. Die Wachstumskurven der mit Aluminium und Stickstoff mikrolegierten Stähle zeigen bei einer Glühzeit von 30 Minuten einen sprunghaften Anstieg bei einer von dem Löslichkeitsprodukt des AIN bestimmten Temperatur. Bei den titanhaltigen Stählen scheinen die Unterschiede in der Austenitkorngröße bis zu 1350°C von der Art der Ausscheidungen abhängig zu sein. Der titanhaltige Stahl, dessen Titan überwiegend an Stickstoff gebunden ist, weist im Grobkornbereich stärkere Kornwachstumsbehinderung auf als die Stähle, in denen das Titan lediglich an den Kohlenstoff gebunden ist.

Eine kennzeichnende Härtesteigerung nach einer Anlaßbehandlung als Hinweis auf ausscheidungsfähige Dispersoide wurde nur bei den titanhaltigen Stählen beobachtet, deren titanhaltige Ausscheidungen bei der Glühtemperatur gelöst worden sind.

An den Walzproben, die einheitlich einen Verformungsgrad von etwa 75 % aufweisen, ergeben sich Unterschiede im Rekristallisationsablauf. In beiden aluminiumhaltigen Stählen ist, unabhängig von der Glüh-temperatur, die Rekristallisation bis zum Zeitpunkt des Abschreckens abgelaufen. Anders verhalten sich die titanhaltigen Stähle, in denen überwiegend das Titan an Kohlenstoff gebunden ist. Wurden diese Stähle vor dem Walzen bei 950°C bei der Temperatur 1250°C eine halbe Stunde geglüht, und damit das Titankarbid aufgelöst, tritt eine Rekristallisationsverzögerung - vermutlich durch Titankarbidausscheidungen verursacht - auf.

CONVENTION N° 6210-62/2/021

TITRE

Aciers soudables à dispersoïdes (Métallurgie physique)
- Etude des conditions de traitement thermique et de composition permettant d'obtenir une précipitation homogène et suffisante de nitrure de béryllium et conduisant à des propriétés de résilience idéales.

BENEFICIAIRE(S)

Max Planck Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Sté Creusot-Loire - Le Creusot

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Le C.R.M. achèvera l'étude des conditions de traitement thermique et de composition permettant d'obtenir une précipitation homogène et suffisante de nitrure de béryllium conduisant à des propriétés de résilience idéales.

Les informations recueillies durant cette première phase serviront, au cours de la seconde, à optimiser les teneurs respectives en béryllium, vanadium ou niobium et azote, de façon à obtenir une harmonie de propriétés de résilience et de traction.

Pour chaque état de traitement thermique, les propriétés mécaniques seront mises en relation avec l'état de cohérence et la morphologie de la précipitation.

TRAVAUX EXECUTES

Qu'ils soient considérés à l'état laminé ou à l'état normalisé, les propriétés mécaniques des aciers niobium-vanadium sont surtout tributaires de l'état de précipitation que les conditions de travail à chaud ont pu créer. Il faut donc ajuster l'analyse et les séquences de laminage pour favoriser une précipitation dense de petites particules ($d \sim 70 \text{ \AA}$) tout en gardant une structure ferritique suffisamment fine. Un traitement de normalisation peut affiner cette structure et améliorer fortement la résistance à la rupture fragile sans trop compromettre la limite élastique.

On constate généralement que la limite élastique des aciers niobium-béryllium est moins bonne et leur température de transition meilleure que celles des aciers niobium-vanadium. Dans ce cas, la normalisation conduit à une détérioration de limite élastique qui n'est pas accompagnée d'une amélioration très significative de la température de transition de la résilience. Les aciers niobium-béryllium sont donc plutôt destinés à être utilisés à l'état laminé.

C'est l'amélioration sensible de la température de transition mesurée à l'état laminé qui constitue l'intérêt pratique du béryllium. On obtient un effet maximum pour des teneurs légèrement supérieures à la teneur en azote libre alors entièrement piégé dans de gros nitrures Be_3N_2 .

Cans le but de contrôler l'effet bénéfique du béryllium sur la température de transition que des essais de laboratoire laissaient pressentir, une coulée industrielle a été élaborée dont un lingot a reçu une addition de quelque 0,04 % en cet élément. A cette teneur, beaucoup trop élevée pour retirer le maximum d'amélioration de la résilience, le béryllium donne lieu à un durcissement de solution solide de près de 2 kg/mm² sur la limite élastique et de 3 kg/mm² sur la charge de rupture. Le gain en température de transition à 5 kgm/cm² est de 20°C en moyenne.

CONVENTION N° 6210-62/3/031

TITRE

Aciers soudables à dispersoïdes (Métallurgie physique)
- Etude des phénomènes de mise en solution et de précipitation au cours de refroidissement continu, de trempes isothermes ou de revenus faisant suite à une trempe ainsi que l'influence éventuelle d'éléments supplémentaires (p.ex. Mn à teneur élevée, Ni, Cu, Cr, Nb et B)

BENEFICIAIRE(S)

Max Planck Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Sté Creusot-Loire - Le Creusot

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Meilleure connaissance du rôle d'éléments tels que le niobium, le vanadium, le cuivre, sur l'amélioration des caractéristiques des aciers de construction soudables. En particulier, détermination des courbes de mise en solution dans l'austénite, de précipitation en conditions isothermes, de précipitation en refroidissement continu et de précipitation au revenu.

TRAVAUX EXECUTES

Les travaux effectués en 1971 et 1972 ont permis de connaître les conditions de la mise en solution et des précipitations pour des aciers de type E 36 micro-alliés au vanadium. Les résultats principaux sont les suivants :

- . le vanadium (à la différence du niobium) se met en solution à basse température. C'est ainsi qu'à 1000°C, tous les carbonitrures sont pratiquement en solution;
- . la précipitation en trempes isothermes ou en refroidissement continu coïncide avec la transformation austénite-ferrite.

On a pu reporter les domaines de précipitation sur les courbes de transformation obtenues en conditions isothermes ou en refroidissements continus.

Les essais ayant montré qu'il existait une grande différence de comportement entre les aciers E 36 micro-alliés au vanadium qui contenaient de l'aluminium et ceux qui n'en contenaient pas, on a étudié en détail l'interaction entre l'aluminium et le vanadium. L'hypothèse est que, lors de l'austénitisation de normalisation (au voisinage de 900°C), l'azote est principalement fixé sous forme de nitrure d'aluminium; le précipité susceptible de se former au cours du traitement ultérieur (refroidissement ou trempe et revenu) est alors principalement du type carbure. Par contre, au cours d'austénitisations à très hautes températures, les précipités d'aluminium ou de vanadium sont en solution dans l'austénite; au cours du refroidissement, le vanadium précipite sous forme de carbonitrures. On constate que ce précipité contenant de l'azote est plus durcissant que le précipité contenant principalement du carbone.

On a vérifié par des coulées de laboratoire contenant ou non de l'aluminium que le durcissement dû au vanadium observé après austénitisation à basse température était plus faible pour les aciers contenant de l'aluminium que pour les aciers n'en contenant pas. Par contre, après austénitisation à haute température, les durcissements sont les mêmes pour les deux nuances.

CONVENTION N° 6210-62/3/032

TITRE

Aciers soudables à dispersoïdes (Métallurgie physique)
- Cinétique du grossissement des grains austénitiques et ferritiques en tenant compte des cycles thermiques, du corroyage, de la nature et du diamètre des particules et en introduisant 3 ou 2 dispersoïdes comme l'Al, le Nb ou le V.

BENEFICIAIRE(S)

Max Planck Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Sté Creusot-Loire - Le Creusot

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

La partie essentielle de cette recherche concerne le comportement du vanadium dans les aciers moyennement alliés, aussi bien pour son influence sur le revenu et les caractéristiques mécaniques que pour son influence sur la cinétique du grossissement du grain austénitique. Par ailleurs, nous chercherons à relier ce grain austénitique au grain ferritique dans le cas d'un traitement thermique classique et en fonction du corroyage effectué avec des additions adéquates de dispersoïdes comme Al et Nb.

TRAVAUX EXECUTES

Dans les deux premiers rapports, nous avons mis en évidence, d'une part, que le vanadium n'a pratiquement pas d'influence sur les points de transformation au chauffage et au refroidissement ni sur les vitesses critiques de trempes, d'autre part, que le vanadium modifie de façon sensible la cinétique du grossissement du grain austénitique. L'énergie d'activation de ce phénomène passe de 100 Kcal/mole pour des teneurs inférieures à 0,060 % à environ 200 Kcal/mole pour une teneur de 0,090 %. Pour des teneurs supérieures, elle augmente jusqu'à 225 Kcal/mole.

Au cours de l'année 1972, nous avons montré que le vanadium modifie également l'énergie d'activation de l'adoucissement au revenu qui passe de 60 Kcal/mole à 84 Kcal/mole, et ceci pour de faibles teneurs en vanadium. Ces résultats sont d'ailleurs valables aussi bien pour une structure de trempe que pour une structure ferrito-perlitique.

Au cas où les aciers au vanadium contiennent du molybdène, l'énergie d'activation de l'adoucissement est de 100 Kcal/mole. On retrouve le résultat obtenu pour les aciers au molybdène ne contenant pas de vanadium.

Par ailleurs nous avons montré que l'énergie d'activation du durcissement secondaire est du même ordre que celle de l'adoucissement, ce qui justifie que l'on représente les deux phénomènes sur un même graphique.

Ce résultat a permis de compléter la formule existante de la dureté de la martensite revenue des aciers au molybdène par l'introduction du vanadium.

CONVENTION No 6210-61/1/210

TITEL

Méthodes d'étude des structures: métallographie quantitative
(Métallurgie physique)

- Amélioration du système de mesure
- Mise en évidence des structures au moyen du télémicroscope quantitatif

BEGÜNSTIGTE(R)

Max-Planck-Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Verbesserung des Meßsystems durch einen höheren Grad der Automatisierung und eine vollständige Bildspeicherung mit Hilfe eines Digitalrechners mit dem Ziel, Gefüge so vollständig quantitativ vermessen zu können, daß eine Verknüpfung dieser Parameter mit Gebrauchseigenschaften möglich wird.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Für die Bildspeicherung wurde das Konzept eines Interface entwickelt, mit dem es möglich wird, nicht nur das Bild zu speichern, sondern auch vom Computer gezielt Bildinformationen abzurufen. Dieses Interface wird für den Anschluß an eine PDP 9 gebaut, kann aber mit geringen Änderungen auch an vergleichbare andere Rechner mit mindestens 18 Bit Wortlänge angeschlossen werden. Alle zur Zeit käuflichen quantitativen Fernsehmikroskope, die zum Teil nach dem Zeilensprungverfahren arbeiten, können mit dem Interface verbunden werden. Die ersten Teile dieser Hardware sind in der Fertigung.

Parallel zu diesen Arbeiten sind die Programme für die PDP 10 zur Auswertung der gespeicherten Bilder soweit entwickelt worden, daß an simulierten Bildern der Flächenanteil, der Umfang und die Sehnenlängenverteilung von Partikeln ermittelt werden kann. Darüber hinaus ist es gelungen, per Programm einzelne Teilchen als Einheit zu erkennen. Als Vorbereitung für diese Auswertung der in der PDP 9 gespeicherten Bilder wurde die Software zur Bildübertragung von der PDP 9 zur PDP 10 weitgehend fertiggestellt. Parallel zu diesen Arbeiten wurden Tests von quantitativen Fernsehmikroskopen mit synthetischen Proben vorbereitet.

CONVENTION N° 6210-61/2/220

TITRE

Méthodes d'étude des structures : métallographie quantitative
(Métallurgie physique)
- Mise en oeuvre de la technique d'observation quantitative des
microstructures et son application.

BENEFICIAIRE(S)

Max Planck Institut - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Les travaux visent à définir les conditions optimales selon lesquelles
une description quantitative d'une microstructure doit être réalisée
et à évaluer la précision qu'il est possible d'atteindre.

Ultérieurement, nous établirons des relations entre les paramètres
microstructuraux et les propriétés macroscopiques (propreté, propriétés
mécaniques, ductilité, déformabilité, etc.) du métal.

TRAVAUX EXECUTES

L'ensemble des travaux réalisés dans le domaine de la métallographie
quantitative peut être réparti en deux groupes, à savoir :

- la mise au point et le développement de nouvelles méthodes donnant
accès à une étude quantitative plus complète de la surface observée;
- l'utilisation des techniques de mesures métallographiques simples
dans le cadre d'autres recherches.

Parmi les travaux du premier groupe, on peut citer à titre d'exemples :

- une étude exploratoire concernant la préparation de l'échantillon et
en particulier les possibilités d'amélioration des conditions d'ob-
servation apportées par l'évaporation d'un sel métallique sur la
surface examinée; des résultats encourageants ont été obtenus dans
le cas de l'identification des inclusions non métalliques;

- la mise au point d'une méthode de mesure de la dimension moyenne et de la répartition de tailles de grains ferritiques dans les échantillons d'acier doux recuit. La méthode s'adapte aux deux types d'observation - microscope optique ou micrographie et épидiascope. - Elle peut être étendue à l'évaluation du facteur de forme moyen des grains ferritiques;
- les déterminations de répartitions granulométriques moyennes en nombre, en surface et en volume de particules précipitées. Pour ces déterminations, les calculs sont effectués sur la base des résultats des observations superficielles.

Quant aux travaux du second groupe, ils consistent principalement en :

- des surfaçages de phases
- des déterminations de répartition granulométrique et de facteur de forme moyen des particules précipitées
- des déterminations de la densité d'une précipitation ou d'un réseau de dislocations.

CONVENTION N° 6210-61/3/230

TITRE

Méthodes d'étude des structures : métallographie quantitative
(Métallurgie physique)
- Etude des analyseurs d'images existant sur le marché
- Etude de la technique de préparation des échantillons
- Application des analyseurs d'images à des études métallurgiques

BENEFICIAIRE(S)

Max Planck Institut - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

- Utilisation des différents analyseurs quantitatifs en contrôle de qualité et comme moyen d'investigation pour la recherche sidérurgique.
- Précision de ces appareils.
- Recherche des paramètres pour la description des constituants structuraux.

TRAVAUX EXECUTES

1. Appareils

1.1. Nous avons poursuivi nos études concernant l'évaluation de l'influence de l'opérateur sur les mesures fournies par les divers Analyseurs d'Images en exploitation. Cette influence touche notamment :
- le réglage de la mise au point optique,
- le réglage du seuil de détection,
- le choix des grossissements utilisés,
- le nombre de mesures nécessaires pour une précision donnée.

1.2. D'autre part, nous avons assuré la mise en route de notre Analyseur de Textures et avons commencé à tester les performances de cet appareil dont la principale caractéristique est de pouvoir travailler directement en bidimensionnel.

En analyse linéaire, cet Analyseur nous a donné des résultats qui se recoupent de façon très satisfaisante avec les Analyseurs d'Images existants. En bidimensionnel nous avons pu obtenir des histogrammes en surface relatifs à une structure de grains ferritiques.

2. Applications métallurgiques

Des études métallurgiques ont été menées dans des domaines très variés. Citons :

- L'évolution de la composition d'un matériau réfractaire à base de silice et de zircone, en fonction de divers paramètres, a pu être suivie et corrélée avec les observations effectuées par rayons X.
- Avec des inclusions de sulfures, d'aluminates et de silicates, de bonnes relations entre les teneurs inclusionnaires et les analyses chimiques ont été trouvées. De même, par corrélation avec des données thermodynamiques, la nature d'inclusions multiphasées a pu être prédéterminée; la microsonde a confirmé les résultats obtenus.
- L'influence du Zr sur la morphologie des sulfures de Mn a pu être mesurée et reliée aux caractéristiques de résilience de larges en aciers doux.
- Par analyse quantitative nous avons tracé pour divers aciers les courbes isothermes de transformation. Ceci permet d'avoir un faisceau de courbes de transformation dans les diagrammes TTT, et d'avoir la teneur relative à chacune des phases en présence à tout instant de la transformation.

Par ailleurs, l'intérêt de telles courbes pour des études de cinétique de transformation est évident, ainsi que pour des recherches sur les phénomènes de germination et de croissance.

- Pour divers aciers de construction microalliés, nous avons pu établir les droites de Petch reliant la taille du grain ferritique à la limite élastique de l'acier. La précision obtenue par les analyseurs rend possible une interprétation détaillée des phénomènes métallurgiques qui interviennent simultanément sur la dimension du grain et une appréciation de leur importance respective.

CONVENTION N° 6210-61/4/240

TITRE

Méthodes d'étude des structures : métallographie quantitative
(métallurgie physique) - analyse des inclusions

BENEFICIAIRE(S)

Max Planck Institut - Düsseldorf
Centre de Recherches métallurgiques - Liège
Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Scopo della ricerca è lo studio della possibilità di applicazione di uno strumento automatico di analisi delle immagini quale il QTM 720 in un campo particolarmente severo della metallografia quantitativa quale l'analisi delle inclusions e inoltre la possibilità di correlare inclusions e proprietà meccaniche anche mediante l'impiego del Pattern recognition System del QTM 720.

TRAVAUX EXECUTES

- 1 - V. Faccenda - Attuale stato delle conoscenze presso il CSM nell'utilizzo del QTM 720 - Febbraio 1972.
- 2 - D. Giucci - Sistema per l'elaborazione automatica dei dati raccolti mediante il QTM 720 - Settembre 1972.
- 3 - V. Faccenda, D. Giucci - Studio della possibilità di impiego del QTM nel controllo della purezza dell'acciaio a livello lingotto - Settembre 1972.

La possibilità di impiego del QTM 720 anche in un campo così severo come l'analisi delle inclusions non metalliche negli acciai è apparsa buona. Interessante è la correlazione emersa dall'analisi dei dati al calcolatore tra area e σ per un certo numero di campi esaminati. Questo potrebbe permettere di poter determinare il numero di campi da esaminare per non commettere un errore superiore a un valore limite.

REF. G 2.3

CONVENTION No 6210-61/1/310

TITEL

Méthode d'étude des structures: Atlas Métallographie - 4ème tome
(Métallurgie physique)

- Applications des nouvelles méthodes. Microfractographie.

BEGÜNSTIGTE(R)

Max-Planck-Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgique - Liège

Institut de Soudure - Paris

GEGENSTAND UND ZIEL

Zusammenstellung von Bruchbildern zu einem Atlas über
Fraktographie

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Sammeln und Herstellen von Brüchen, Anfertigung von makroskopischen und
mikroskopischen Bruchaufnahmen im Rahmen einer Gliederung nach :

1. makro- und mikrozähen Brüchen
2. Trennbrüchen
3. Mischbrüchen
4. Spannungskorrosionsbrüchen
5. Schwingungsbrüchen
6. Schwingungskorrosionsbrüchen
7. Brüchen durch innere Spannungen
8. Einfluß des Gefüge und der Wärmebehandlung auf die Bruchausbildung

REF. G 2.3

CONVENTION No 6210-61/2/320

TITRE

Méthode d'étude des structures: Atlas métallographique - 4ème tome
(Métallurgie physique)

- Techniques métallographiques

BENEFICIAIRE(S)

Max-Planck-Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Soudure - Paris

OBJECTIF

Dans le cadre de la métallurgie physique, le but poursuivi par les travaux est la constitution du quatrième volume de l'Atlas Métallographique. La participation du C.R.M. concerne la mise à jour du tome intitulé: "les bases de la métallographie" et notamment la description des nouvelles techniques d'examen, de leur principe et de leur domaine d'utilisation. Cette description sera illustrée par de nombreuses micrographies.

TRAVAUX EXECUTES

Quelques recherches préliminaires nous ont amenés à définir le plan général que nous comptons suivre pour mener à bien le travail. En principe, ce plan est parallèle à celui du premier volume et doit mettre en évidence les innovations et améliorations apportées aux techniques métallographiques et techniques annexes pendant ces dernières années.

Au cours de la période écoulée, nous avons poursuivi nos recherches bibliographiques et pris contact avec d'autres laboratoires susceptibles de nous fournir un complément d'informations et d'illustrations sur les chapitres à traiter.

De l'ensemble des renseignements recueillis il apparaît que la plus grande partie des modifications a trait au premier chapitre c'est-à-dire à la description et à l'emploi des nouveaux types d'appareils disponibles actuellement sur le marché.

Un premier texte de ce chapitre important a été rédigé. Toutefois, ce texte n'est pas définitif; il est susceptible d'être remis à jour avant l'achèvement de la présente convention.

Par ailleurs, nous avons monté quelques planches illustrant d'une part, les possibilités des nouveaux appareils et d'autre part, quelques microstructures particulières observées dans les aciers et alliages ferreux.

REF. G 2.3

CONVENTION No 6210-61/3/330

TITRE

Méthode d'étude des structures: Atlas Métallographique - 4ème tome
(Métallurgie physique)

- structure après soudage

BENEFICIAIRE(S)

Max-Planck-Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Soudure - Paris

OBJECTIF

Préparation d'un chapitre "Métallographie des soudures d'acier"
à paraître dans le Tome IV de l'Atlas Métallographique de la
Communauté.

TRAVAUX EXECUTES

Conception de l'ensemble de la contribution, comportant un chapitre
introdutif dont le plan a été établi et une série de planches métallographiques relatives à divers cas de soudage, en faisant varier :

- la nature des aciers,
- les épaisseurs en présence,
- les procédés et modes opératoires de soudage.

Des maquettes de telles planches ont été établies et la collecte des illustrations est en cours.

Cette recherche va de pair avec un important effort entrepris à
l'Institut de Soudure pour le développement des moyens audio-visuels
(Télévision en circuit fermé) dans l'enseignement de la métallographie.

REF. G 2.4

CONVENTION No 6210-61/2/420

TITRE

Mécanismes structuraux (Métallurgie physique)

- Application des mesures de microplasticité à l'étude fondamentale des mécanismes de la déformation.

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

OBJECTIF

On comprend de mieux en mieux qu'il est indispensable de bien connaître les mécanismes structuraux de la déformation et de la rupture si l'on désire continuer à améliorer les propriétés mécaniques des aciers au cours des prochaines années. Il est nécessaire, en particulier, de parvenir à une connaissance approfondie des conditions de formation et de déplacement des dislocations, et de savoir jusqu'à quel point la mobilité des dislocations peut être abaissée sans diminuer la résistance à la rupture fragile.

La présente recherche est axée essentiellement sur l'application des mesures de microplasticité à l'étude des mécanismes structuraux de la déformation et de la rupture.

TRAVAUX EXECUTES

Les travaux exécutés pendant l'année 1972 sont :

- L'étude des microdéformations aux très faibles contraintes : un extensomètre à haute sensibilité et une pompe à débit constant ont été construits pour cette étude. L'ensemble de cet équipement est actuellement en cours de mise au point.
- L'étude de la mobilité des dislocations dans différentes ferrites : deux alliages Fe-Si et deux alliages Fe-Mn ont été élaborés pour cette étude. Ces quatre alliages sont actuellement en cours d'expérimentation à différentes températures et différentes vitesses de mise en charge.

CONVENTION N° 6210-61/3/430

TITRE

Mécanismes structuraux (Métallurgie physique)

- Etude sur la formation et la tenue de la calamine dans des atmosphères oxydoréductrices

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

OBJECTIF

Préciser l'influence des éléments d'alliage sur la cinétique de formation et la structure de FeO , sur ses propriétés, ainsi que sur les transformations de cet oxyde au cours du refroidissement. Relation avec l'adhérence et le comportement au décapage des calamines.

Mettre en évidence l'importance de l'atmosphère en poursuivant l'étude, d'une part, dans une simple atmosphère oxydoréductrice et, d'autre part, dans des atmosphères analogues à celles des fours industriels.

TRAVAUX EXECUTES

- Etude de la décarburation au cours de l'oxydation de FeC à 0,4 et 0,5 %

Relation entre l'adhérence et la cinétique d'oxydation ainsi que la décarburation du métal, en présence de carbure de fer Fe_3C .

Deux séries d'expériences ont été réalisées :

1. Oxydations à 700°C dans l'air ambiant. La couche d'oxyde est très peu adhérente. Elle reste fine et la proportion des oxydes supérieures par rapport à l'ensemble de la couche est très importante. Malgré la faible adhérence, la décarburation superficielle du métal n'est observable qu'à partir de 16 h de traitement.

2. Oxydations dans l'air ambiant au voisinage de la température de transformation A_1 (723°C). Ces essais ont montré que pour une même température d'oxydation, le comportement des alliages FeC est très différent suivant que le métal se trouve sous forme d'austénite ou de ferrite + cémentite. Les caractéristiques de l'oxyde et la teneur superficielle du métal en carbone dépendent, pour une température donnée, de l'histoire thermique de l'échantillon.

- Etude de l'influence des composés d'addition sur les propriétés mécaniques du protoxyde de fer. Relation entre la teneur en MnO et la plasticité de FeO à haute température.

Des échantillons de solutions solides FeO-MnO ont été préparés par oxydation d'alliages Fe Mn et par frittage de poudres. Ils ont été refondus dans un four à image et la composition a été vérifiée par analyse chimique.

Des mesures de dureté à chaud (600°C, 700°C, 800°C, 900°C) ont été réalisées sous vide dans un appareillage IRSID.

La dureté des solutions solides FeO-MnO augmente avec la teneur en MnO entre 600°C et 900°C. Toutefois, il faut plus de 15 % de MnO pour que cet effet soit nettement observable. Pour une solution solide donnée, l'écart croît lorsque la température s'abaisse de 900°C à 600°C. A 900°C la dureté des solutions solides FeO-MnO se confond avec celle de FeO pur.

- Etude du décalaminage à froid. Influence du taux de décomposition de FeO sur l'aptitude au décapage dans l'acide chlorhydrique.

Les vitesses de dissolution dans l'acide chlorhydrique sont légèrement plus élevées que dans l'acide sulfurique. Les résultats obtenus avec l'acide sulfurique ont été confirmés par les mesures dans l'acide chlorhydrique :

1. Les vitesses de dissolution de FeO et de FeO contenant de la magnétite précipitée sont très voisines.
2. Pour la magnétite, la vitesse de dissolution est environ dix fois plus faible.
3. Pour les échantillons de protoxyde complètement décomposé, contenant en plus de la magnétite du fer précipité, la vitesse de dissolution est dix fois plus élevée que celle du protoxyde et environ cent fois plus élevée que celle de la magnétite pure.

- Adhérence de la calamine et décarburation de l'acier en présence de manganèse

Les connaissances actuelles sur l'oxydation des alliages binaires FeC et Fe n'ont pas permis d'expliquer de manière satisfaisante la mauvaise adhérence de la calamine sur les alliages FeCMn, constatée au cours d'une précédente recherche sur les alliages, que nous avons citée dans le précédent rapport d'activité (concernant 1971). Un examen plus approfondi d'échantillons de Fe Mn et Fe C Mn oxydés à 800°C et 900°C a montré l'existence d'une zone d'oxydation interne du métal au contact de l'oxyde, qui pourrait être responsable de la médiocre adhérence de la calamine.

CONVENTION N° 6210-61/3/100

TITRE

Transformations allotropiques et traitements thermomécaniques des aciers soudables (Métallurgie physique)

BENEFICIAIRE(S)

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

OBJECTIF

Les traitements thermomécaniques réalisés dans le domaine de l'austénite stable semblant pouvoir être mis en oeuvre sans de trop grosses difficultés industrielles, il a paru intéressant de poursuivre leur étude en l'étendant aux aciers soudables, nuances qui devraient constituer un domaine d'application très vaste pour ces procédés. Le but poursuivi est de faire progresser les connaissances sur ce sujet afin de promouvoir les aciers soudables en améliorant leurs propriétés (trempe et revenu et laminage contrôlé).

TRAVAUX EXECUTES

Depuis le début des travaux une étude préliminaire a été réalisée. Plusieurs aciers soudables, de composition chimique type E 355 avec ou sans éléments dispersoïdes (Nb,V) ont été traités thermomécaniquement à haute température. Il s'agissait d'un cycle de TTMHT proche d'un traitement de trempe directe. Des résultats obtenus il ressort que les aciers soudables "répondent" au TTMHT d'une manière tout à fait comparable aux aciers trempants. L'amélioration des propriétés mécaniques de la martensite obtenue est liée à la consolidation préalable de l'austénite. Celle-ci évolue par recristallisations dynamique et statique. Il est plus facile de contrôler cet état métallurgique pour les nuances contenant des éléments dispersoïdes (Nb et Nb + V). Enfin, à l'état trempé revenu, le TTMHT apporte une amélioration des caractéristiques mécaniques.

Au vu de ces résultats préliminaires obtenus sur 5 nuances, il a paru judicieux de ne retenir que deux compositions ne différant que par la présence du Nb.

Après une étude fine des conditions de mise en solution du Nb et de la précipitation isotherme et isochrome à l'état trempé-revenu, les courbes de déformation plastique à haute température ont été tracées pour les deux aciers en simulation par torsion.

Des essais de laminage expérimental ont été ensuite réalisés dans des conditions de TTMHT et trempe directe - Divers états de traitements thermiques et bruts de laminage servaient de comparaison.

Les résultats mécaniques obtenus montrent que la trempe directe d'un acier soudable permet l'obtention de caractéristiques intéressantes. Les caractéristiques de résilience dépendent étroitement de l'état de consolidation du grain austénitique au moment de la trempe. Elles dépendent donc de la nuance et du schéma de laminage. L'affinement du grain austénitique ou son écrouissage vont dans le même sens pour améliorer la résistance à la rupture fragile. Il a également été possible de montrer qu'une structure totalement martensitique n'était pas indispensable pour obtenir de bonnes caractéristiques à l'état trempé-revenu. Enfin, les possibilités d'amélioration par TTMHT trempe directe vont au-delà de celles ouvertes par la trempe classique après austénitisation dans un four.

CONVENTION N° 6210-70/3/103

TITRE

Développement de l'analyse quantitative par microsonde - calculs des corrections (Métallurgie physique)

BENEFICIAIRE(S)

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye

OBJECTIF

Améliorer la précision et la qualité des mesures quantitatives faites en micro-analyse par sonde électronique, sur échantillons massifs et sur échantillons minces.

TRAVAUX EXECUTES

On a établi la théorie et les conditions de l'analyse quantitative des échantillons minces et on a vérifié les éléments de cette théorie par des mesures expérimentales. La validité des résultats obtenus a permis de nombreuses applications à des analyses de précipités extraits sur réplique, ce qui apporte des indications sur la nature des phases formées au cours des traitements thermiques des aciers étudiés, et leur évolution selon les traitements.

Une méthode de détermination des limites de validité du modèle classique de correction des mesures sur échantillons massifs a été établie et utilisée.

Il en résulte une possibilité d'optimiser les conditions expérimentales des mesures.

On a mis en place une interface simple et peu coûteuse permettant l'acquisition des données d'analyse sur ruban perforé. Le traitement en temps différé sur un ordinateur type IBM 1130, 16 K a été écrit en FORTRAN.

Ce traitement comporte en particulier un ensemble de programmes de statistiques qui assure automatiquement et rigoureusement l'évaluation de la qualité des mesures, le filtrage des valeurs avec élimination des mesures aberrantes et le calcul des valeurs moyennes et de dispersion.

L'utilisation de ce traitement préalable des mesures avant les procédures habituelles de correction est maintenant faite systématiquement et semble améliorer notablement la qualité des analyses.

CONVENTION No 6210-70/1/201

TITEL

Etude des transformations ordre/désordre dans les alliages ternaires de fer (Métallurgie physique)
(Umwandlung Ordnung/Unordnung in binären und ternären Eisenlegierungen)

BEGÜNSTIGTE(R)

Max-Planck-Institut - Düsseldorf

GEGENSTAND UND ZIEL

- a) Ermittlung der Ordnungsreaktionen in binären und ternären Eisenlegierungen in Abhängigkeit von Temperatur und Zusammensetzung.
- b) Entwicklung von Modellvorstellungen, mit deren Hilfe die stabilsten Atomanordnungen in binären und ternären Legierungen ermittelt werden können.
- c) Vergleich zwischen experimentellen Ergebnissen und Modellaussagen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Nach Abschluß der Entwicklung von Modellvorstellungen für die Ordnungsvorgänge in kubisch raumzentrierten (k.r.z.) Mischkristallen (siehe 1. Halbjahresbericht 1972) wurden diese auf das System Fe-Si angewendet mit dem Ziel, Zahlenwerte für die Austauschenergien nächster und übernächster Nachbarn zu bestimmen.

Hierzu wurden die Ordnungsvorgänge in Abhängigkeit von Temperatur und Legierungszusammensetzung mit Hilfe der Neutronenbeugung an Einkristallen untersucht. Aus der Temperaturabhängigkeit der Überstrukturreflexe konnten die Ordnungsparameter in Abhängigkeit von der Temperatur bestimmt und daraus auch die kritischen Temperaturen der Ordnungsreaktionen in nächster und übernächster Nachbarschaft neu ermittelt werden.

Der Vergleich zwischen der Modellrechnung und den gemessenen Werten für die kritischen Temperaturen bei einer vorgegebenen Konzentration ergab die Zahlenwerte der Austauschenergien

nächster Nachbarn $W = 2000$ k-Einheiten
und übernächster Nachbarn $w = 1000$ k-Einheiten

Mit diesen Zahlenwerten konnten die kritischen Temperaturen im ganzen Konzentrationsbereich der k.r.z. Fe-Si-Mischkristalle mit Hilfe des Modells berechnet werden. Die berechneten und gemessenen Werte stimmen sehr gut überein.

Ferner konnte durch den Vergleich gemessener und berechneter Umwandlungswärmen nachgewiesen werden, daß die Zahlenwerte der Austauschenergien nicht nur formale Parameter des Modells, sondern echte Energien im physikalischen Sinne sind.

CONVENTION No 6210-70/1/510

TITEL

Phénomènes de précipitation (Métallurgie physique)

- Détermination de grandeurs physiques par des mesures thermomagnétiques

BEGÜNSTIGTE(R)

Max-Planck-Institut - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

GEGENSTAND UND ZIEL

- 2.1 Abschluß der Aufbauphase eines supraleitenden Magnetsystems für magnetische Messungen an Eisenlegierungen in hohen Magnetfeldern.
- 2.2 Erzeugung anisotroper Gefügezustände in eisenreichen Legierungen durch ein äußeres Magnetfeld und Messung der magnetischen Eigenschaften dieser Legierungen mit der Apparatur nach 2.1.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

5.1 Abschluß der Aufbauphase des supraleitenden Magnetsystems :

Bau einer magnetischen Pendelwaage hoher Empfindlichkeit zur Messung magnetischer Eigenschaften von Eisenlegierungen.

Fertigstellung eines Verdampferkryostaten zur Einstellung tiefer Proben-temperaturen.

Inbetriebnahme einer automatischen elektronischen Daten-Erfassungsanlage.

5.2 Im Rahmen der Untersuchung der "Beeinflussung der Nitridausscheidung Fe_3N in Fe-N-Mischkristallen durch ein äußeres Magnetfeld" (siehe Tätigkeitsbericht 1971) wurden die Entstehungsbedingungen für eine Orientierungsauslese dieser Teilchen weiter analysiert. Insbesondere wurde untersucht:

- a) der Einfluß der Einschaltzeit des äußeren Magnetfeldes während der Teilchenvergrößerung auf die Orientierungsauslese bei verschiedenen Auslagerungstemperaturen
- b) der Einfluß der Feldstärke des äußeren Magnetfeldes auf die Orientierungsauslese
- c) der Einfluß der Kristallorientierung auf die Orientierungsauslese.

Als Teilergebnis hat sich gezeigt, daß

- a) die Einschaltzeiten auf rund 10 h verkürzt werden können
- b) die Magnetfeldstärke auf weniger als 2000 Oe reduziert werden kann
- c) Abweichungen der Kristallorientierung von der bisher untersuchten Orientierung bis rund 20° den Ausleseeffekt nicht wesentlich stören.

Für eine quantitative Abschätzung der Ursachen für die Orientierungsauslese ist die Kenntnis der Sättigungsmagnetisierung der Nitridteilchen erforderlich. Es ist damit begonnen worden, diese Sättigungsmagnetisierung in dem unter 5.1 beschriebenen supraleitenden Magnetsystem zu bestimmen.

CONVENTION N° 6210-70/2/520

TITRE

Phénomènes de précipitation (Métallurgie physique)
- Etude de la répartition des éléments d'addition entre les différents constituants d'un acier après traitement thermique

BENEFICIAIRE(S)

Max Planck Institut - Düsseldorf
Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

OBJECTIF

Les propriétés mécaniques des aciers faiblement alliés ou alliés sont étroitement liées au pourcentage d'éléments d'addition en solution solide dans les différents microconstituants (ferrite, perlite, bainite, martensite et austénite), et à la composition, la forme, la quantité, de précipités ainsi qu'à leur répartition. Tous ces facteurs varient avec le type de traitement thermique réalisé.

On ne trouve à l'heure actuelle, que très peu de données quantitatives dans ce domaine. Cependant, une étude systématique de la répartition quantitative des éléments d'alliage conduirait à une meilleure compréhension des phénomènes, et notamment du mode d'action de ces éléments dans l'amélioration des propriétés mécaniques du matériau. Elle permettrait, en outre, leur exploitation plus rationnelle et aussi de définir d'une manière cartésienne les conditions des traitements thermiques.

TRAVAUX EXECUTES

Dans une première phase de la recherche, nous avons examiné trois nuances d'aciers faiblement alliés (1Cr, 1Mo, 0,25V - 3 Cr et 5 Cr).

Dans le cas des aciers à 3 et 5 % Cr, la recherche vise à déterminer l'influence des traitements thermiques sur la microstructure - essentiellement sur les paramètres de la précipitation de carbures - et partant, sur les propriétés mécaniques du matériau.

Jusqu'à présent, nous avons étudié l'influence des conditions d'austénitisation sur la mise en solution des carbures, l'homogénéité de l'austénite, les microstructures formées au refroidissement et leurs propriétés mécaniques.

A cette fin, nous avons déterminé quelques diagrammes C.C.T. pour des austénitisations de différentes durées à des températures comprises entre le point Ac_1 et 1100°C .

Nous avons examiné les échantillons y afférants au microscope électronique à balayage. Il ressort de ces examens que la mise en solution complète des carbures n'est pas atteinte après une austénitisation de 30 minutes à 1000°C .

Par ailleurs, nous avons déterminé l'évolution de la précipitation de carbures dans un acier à $1\text{Cr}-1\text{Mo}-0,25\text{V}$ après une trempe et un revenu de longue durée à température élevée, et relié cette évolution aux propriétés mécaniques du matériau. Comme il fallait s'y attendre, une coalescence de la précipitation entraîne une diminution des propriétés mécaniques. Cette coalescence est particulièrement importante dans les structures initialement martensitiques et perlitiques. Par contre, elle est considérablement plus lente dans les microstructures bainitiques.

Enfin, l'anisotropie induite dans une structure martensitique par un refroidissement très rapide n'est pas entièrement résorbée après un maintien de 2 heures à 700°C .

CONVENTION N° 6210-70/2/402

TITRE

Etude de la surface (Métallurgie physique)

- Possibilités de la spectrométrie d'électrons Auger dans l'analyse des surfaces métalliques

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

OBJECTIF

La spectrométrie d'électrons AUGER est une méthode d'analyse non destructive des premières couches atomiques d'un solide. Le but de la recherche est de mettre en évidence les possibilités et les limites de cette technique dans le cas des métaux polycristallins et principalement dans le cas des aciers. Les domaines d'application qui seront abordés par cette technique sont :

- l'étude des ségrégations superficielles d'éléments tels que le carbure, le soufre, le phosphore, la manganèse... dans des aciers LD.
- l'étude de revêtements minces sur acier LD.

TRAVAUX EXECUTES

En spectrométrie AUGER, on bombarde la surface du solide à l'aide d'un faisceau d'électrons. Dans le spectre des électrons émis par le solide sous l'impact primaire, on observe des raies caractéristiques appelées raies AUGER, qui permettent de définir les atomes présents en surface. En raison de leur très faible énergie, ces électrons ne peuvent émerger que des dix premières couches atomiques du solide.

Nos premiers travaux ont porté, d'une part, sur l'étude des spectres AUGER émis par un certain nombre de corps purs tels que le fer, le chrome, le manganèse, et d'autre part, sur l'identification des énergies caractéristiques des diverses raies caractéristiques. L'utilisation d'un canon ionique primaire permet d'éroder progressivement la surface du solide et rend accessible à l'analyse par spectrométrie AUGER, des couches de plus en plus profondes. Nos essais ont montré que la vitesse de pulvérisation du canon ionique était voisine de 3 Å/minute.

L'utilisation simultanée de l'analyse par spectrométrie AUGER et de la pulvérisation cathodique par faisceau ionique nous permet d'analyser des couches de quelques centaines d'angstroms avec une résolution de quelques dizaines d'angstroms. La méthode d'analyse s'avère être particulièrement sensible dans la détection des éléments légers et est donc complémentaire d'autres techniques telles que la micro-analyse par sonde ionique.

A titre d'exemple, les profils de distribution des éléments Cr, Fe, O et C ont été établis dans le cas de revêtements minces du type "Tin free steels". Dans ces revêtements, il est possible de mettre en évidence des sous-couches : la sous-couche externe, d'une épaisseur de 200 Å est un oxyde de chrome tandis que la sous-couche interne, d'une épaisseur de 500 Å, correspond à une zone de diffusion des éléments Fe et Cr. Dans le cas d'une application additionnelle de laque, on observe une importante diffusion du carbone dans la sous-couche externe d'oxyde qui est probablement poreuse; cette imigration du carbone explique l'excellente adhérence des laques sur ces revêtements.

Cette technique est également utilisée pour l'étude des couches de passivation du fer blanc; ces couches, d'une épaisseur de 50 Å, sont des oxydes d'étain dans lesquels on peut mettre en évidence une quantité importante de chrome apporté par les bains de passivation.

CONVENTION No 6210-82/1/101

TITEL

Traitements thermomécaniques des aciers

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Max-Planck-Institut für Eisenforschung - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

GEGENSTAND UND ZIEL

Das Ziel der Untersuchung ist, den Einfluß einer "Kontrollierten Warmumformung" auf die Streckgrenze von austenitischen Cr-Ni-Stählen zu ermitteln.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

"Kontrollierte Warmumformung" ist eine geeignete Kombination der Parameter Umformtemperatur, Formänderungsgrad und -geschwindigkeit während des Umformprozesses zur Erzielung günstiger mechanischer Eigenschaften des verformten Produkts.

Die dafür notwendige, werkstoffspezifische Kenntnis des Einflusses der Umformparameter auf die mechanischen Eigenschaften wird im ersten Teil der Untersuchung mittels eines Torsionsplastometers erarbeitet. Im Berichtszeitraum wurde mit der Konstruktion und dem Aufbau des Torsionsplastometers begonnen. An die Versuchsanordnung werden folgende besonderen Anforderungen gestellt:

- Die Einflußgrößen Formänderung, Formänderungsgeschwindigkeit und -temperatur müssen gezielt einstellbar und in weiten Grenzen zu variieren sein.
- Die maximale Formänderungsgeschwindigkeit soll denen der modernen Umformprozesse möglichst nahekommen.
- Formänderungen sollen in mehreren Teilschritten bei jeweils geänderten Formänderungsgeschwindigkeiten und -temperaturen aufzubringen sein.
- Die Umformung soll bei unterschiedlichen Spannungszuständen entsprechend den verschiedenen Formgebungsverfahren durchzuführen sein.

CONVENTION No 6210-82/1/121

TITEL

Traitements thermomécaniques des aciers

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Max-Planck-Institut für Eisenforschung - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

GEGENSTAND UND ZIEL

Die Arbeiten wurden auf der Grundlage der Ergebnisse des 1. Programmes mit zwei verschiedenen Zielrichtungen durchgeführt, am MPI in Düsseldorf in Richtung weiterer Aufklärung der Verfestigungsmechanismen bei den verschiedenen Stahlsorten. Die Struktur der auftretenden Phasen wird bestimmt, die Verformungsfähigkeit sowie die Möglichkeit des Austenitformhärtens bei niedrig legierten Stählen mit hohem Restaustenitgehalt und bei Maraging-Stählen werden darüber hinaus untersucht. An der TU Hannover wird an der Lösung der Probleme bei der technischen Durchführung des Austenitformhärtens am Beispiel der Schraubenbolzen aus einem 5 % und 1,5 % Cr-Stahl weiter gearbeitet. Ziel ist die Verminderung der inneren Spannungen bei der Durchführung des Verfahrens und das Vermeiden von Rissen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Die ersten Strukturbestimmungen an den beim Austenitformhärtens auftretenden Karbidphasen zeigten, daß selbst bei Umformtemperaturen von 300°C noch Sonderkarbide beim Umformen übersättigter austenitischer Lösungen ausgeschieden werden. Systematische Bestimmungen der Restaustenitgehalte nach Austenitformhärtens und nach Anlassen ließen erkennen, daß der Martensitpunkt des umwandlungsfähigen austenitischen Mischkristalls in erster Linie die Austenitmenge im Martensit bestimmt. Das bedeutet gleichzeitig, daß eine Karbidausscheidung beim Austenitformhärtens die Menge herabsetzt, wenn nicht durch die Kornverfeinerung des Martensits und die gegenseitige Verspannung der α - und γ -Phase ein zusätzlicher Stabilisierungseffekt erzeugt wird.

Das Verfahren des Austenitformhärtens von Kopfbolzen mit 20 mm Dmr. aus Stahl x 38 CrMoV 51 wurde soweit geändert, daß Spannungsrisse nicht mehr auftraten. An derartigen rißfreien austenitformgehärteten Kopfbolzen wurden Restspannungszustände bestimmt durch Dehnungsmessungen mit Hilfe von Dehnungsmeßstreifen nach Auslösen der Spannungen durch elektroerosives Bohren in Längsrichtung. Es war festzustellen, daß bei geeigneter Verfahrensauslegung die gleichen Eigenspannungsverteilungen (Zugspannung im Rand, Druckspannung im Kern) auftreten wie nach herkömmlichen Härtens.

CONVENTION N° 6210-82/2/201

TITRE

Traitements thermomécaniques des aciers

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Max Planck Institut für Eisenforschung - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

OBJECTIF

Le C.R.M. poursuit ses recherches sur le laminage contrôlé des aciers à dispersoïdes. Il étudie principalement les effets du vanadium sur la cinétique de recristallisation de l'austénite déformée des aciers de construction soudables. Pour autant que les techniques utilisées s'avèrent suffisamment sensibles, l'étude portera aussi sur l'effet des éléments de base de l'acier (carbone, manganèse, silicium). Les informations déjà obtenues sur la précipitation anisotherme des composés d'éléments à dispersoïdes et leur comportement au passage de la transformation allotropique seront également complétées.

Le C.R.M. étendra à d'autres nuances son étude des améliorations de propriétés mécaniques obtenues à partir du traitement de laminage contrôlé.

TRAVAUX EXECUTES

Les résultats de l'étude entreprise doivent être directement exploitables pour la production industrielle. Une grande quantité de laminages expérimentaux faisant largement varier les paramètres de traitement (séquence des déformations, température, vitesse de refroidissement) ont donc été réalisés en laboratoire. Les essais de simulation (traction, torsion, compression...) ne doivent en principe être utilisés que pour interpréter les propriétés obtenues par laminage et parfaire l'étude fondamentale de la recristallisation et de la précipitation.

Des coulées de 80 kg ont été élaborées dans un four à électrodes consommables avec des teneurs en vanadium, aluminium, silicium, carbone et azote variables. Leurs analyses de base correspondent à des

équivalents en carbone compris entre 0,282 et 0,411 %. Les lingots ont été forgés en plats et ont ensuite subi un traitement thermique d'homogénéisation sous atmosphère réductrice avant d'être laminés à chaud.

Les largets sont tout d'abord maintenus 1/2 heure à 1250°C dans un four sous atmosphère neutre pour assurer une mise en solution aussi complète que possible des précipités éventuellement présents. Ils sont ensuite amenés à l'épaisseur finale de 12 mm en 3 ou 4 passes imposées sans réchauffage intermédiaire. Les températures finales visées s'échelonnent entre 800° et 1000°C.

La plupart de ces laminages sont réalisables sur des installations industrielles classiques et permettent cependant de contrôler les effets d'une passe finale de déformation variable (29 ou 15 %) imposée à une température plus ou moins éloignée du point de transformation Ar_3 .

Deux modes de refroidissement ont été utilisés pour établir l'influence de ce dernier paramètre (pour différentes conditions de taux et de température de déformation).

CONVENTION N° 6210-82/3/301

TITRE

Traitements thermomécaniques des aciers

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Max Planck Institut für Eisenforschung - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

OBJECTIF

Ecole des Mines de Paris :

1er sujet : Etude de la plasticité induite par la transformation martensitique dans des aciers Fe - 15 à 34 Mn - 0 à 5 Cr - 0 à 0,4 C.

2ème sujet : Poursuite de l'étude du traitement de perlitoformage sur des aciers du type XC 38 - XC 22 et 35NC6.

IRSID :

Etude de l'influence d'une déformation à chaud (cas d'un traitement thermomécanique à haute température) sur les phénomènes de recristallisation et de précipitation dans l'austénite. Contribution à la compréhension des mécanismes de précipitation induite par déformation dans les aciers contenant des éléments dispersoïdes.

TRAVAUX EXECUTES

Ecole des Mines de Paris :

1er sujet : Les premiers travaux ont porté sur un alliage industriel de composition Fe - 18 Mn - 4 Cr - 0,5 C qui est utilisé principalement dans l'industrie électrique pour la fabrication de frêtes amagnétiques pour les rotors de turbo-alternateurs. Les caractéristiques mécaniques ont été déterminées par des essais de traction isothermes effectués entre - 196°C et 330°C. Il a été montré que cet acier présente un pic d'allongement en fonction de la température d'essai. Ce pic, dont le maximum est situé au voisinage de 100°C, est probablement dû à la transformation $\gamma \rightarrow \epsilon$ et/ou au maclage de l'austénite, mais il n'est pas lié à la transformation $\gamma \rightarrow \alpha'$.

2ème sujet : L'étude du traitement de perlitoformage appliqué à l'acier X C 38 a débuté depuis quelques mois. Les premiers essais ont montré que, comme pour l'acier X C 60 (Cf. Convention CECA 6210-31 - Rapport final), une déformation à 700°C de la structure ferrito-perlitique, suivie d'un recuit de courte durée (2 à 8 heures) permet d'obtenir la globularisation de la cémentite. Ceci adoucit l'acier en diminuant légèrement la résistance à la traction mais surtout en augmentant la ductilité par rapport aux échantillons recuits.

IRSID :

Des essais de torsion complétés par des observations micrographiques et radiocristallographiques - nous ont permis l'observation des cinétiques de recristallisation de l'austénite et celles de précipitation du Nb en sursaturation dans celle-ci.

Les principaux résultats obtenus mettent en évidence plusieurs "effets du niobium" :

1) lorsqu'il se trouve en solution solide sursaturée dans l'austénite, il retarde aussi bien la recristallisation statique que la recristallisation dynamique;

2) lorsqu'il précipite sous forme de carbures (ou de carbo-nitrures) dans l'austénite, pendant un maintien isotherme, après déformation de celle-ci, il faut distinguer deux cas :

a) si l'austénite a subi une recristallisation dynamique complète - pendant la déformation - la précipitation accélérée par la déformation semble contribuer au freinage du grossissement du grain (recristallisation post-dynamique);

b) si l'austénite n'a pas recristallisé pendant la déformation, la recristallisation statique - ayant lieu par germination et croissance de nouveaux grains - se trouve freinée tant que la fraction de Nb précipité est négligeable. Mais au cours de la précipitation, lorsque la teneur en Nb dans l'austénite devient inférieure à une valeur critique, la recristallisation statique n'est plus freinée : elle devient en fait aussi rapide que dans le cas de l'acier sans niobium. A ce stade, les précipités ne freinent plus la recristallisation statique.

A partir des courbes décrivant les cinétiques isothermes, il a été possible de construire un certain nombre de diagrammes de recristallisation et de précipitation pour les deux aciers étudiés, du type A 52, l'un à 0,040 % Nb et l'autre sans Nb.

REF. G 5

CONVENTION No 6210-84/2/201

TITRE

Mécanisme structuraux

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

OBJECTIF

Influence du manganèse sur les phénomènes de restauration et de recristallisation ainsi que sur la formation des textures cristallines des aciers doux.

Le but de cette recherche est de préciser la nature des interactions entre le manganèse d'une part, le soufre et l'oxygène d'autre part, au niveau de la restauration et de la recristallisation d'aciers doux à très bas carbone. Par ailleurs, on s'attachera à mettre en évidence l'influence qu'ont ces interactions sur la formation et le développement des diverses composantes de la texture cristalline.

TRAVAUX EXECUTES

Dans le cadre de cette recherche, un certain nombre d'aciers doux synthétiques ont été réalisés en laboratoire par coulée sous vide. Ces aciers sont à très bas niveau de carbone et d'azote et se différencient par leurs teneurs en manganèse.

Deux aciers de référence de composition classique ont été également réalisés en laboratoire.

Après forgeage et traitement d'homogénéisation, les aciers sont laminés à chaud suivant un programme établi dans le but de simuler les conditions industrielles de laminage à chaud. Les conditions de refroidissement après laminage à chaud sont diverses : simulation de bobinage classique, trempe à l'eau, refroidissement à l'air.

Les aciers sont ensuite laminés à froid et recuits en atmosphère neutre. Deux types de recuit sont actuellement en cours : des recuits sans maintien à des températures échelonnées entre 250 et 850°C ainsi que des recuits isothermes entre 500 et 750°C.

CONVENTION N° 6210-84/3/301
3/302

TITRE

Mécanismes structuraux

- Relations entre la morphologie de la cémentite dans les aciers et les mécaniques de déformation plastique et de rupture
- Aciers de traitement thermique : étude du comportement au revenu des différentes structures auxquelles peut conduire la transformation $\gamma \rightarrow \alpha$

BENEFICIAIRE(S)

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St. Germain-en-Laye

OBJECTIF

- a) Etude systématique de la manière dont varient les caractéristiques de déformation plastique et de rupture des aciers à structure biphasée ferrite-carbures.
Mécanisme de formation des ruptures dans les différentes structures, origine de différences de ductilité et de durcissement par écrouissage.
- b) Etude de l'évolution au revenu des structures non totalement martensitiques susceptibles d'apparaître lors de la transformation — .
L'analyse du comportement de ces dernières se fera à l'aide des courbes $H_v = f$ (conditions de refroidissement) correspondant aux diverses conditions de revenu.

TRAVAUX EXECUTES

- a) Influence de la morphologie et de la répartition de la cémentite sur les propriétés des aciers au carbone

L'étude a démarré le 1.10.1972. Durant le dernier trimestre 1972, les travaux suivants ont été effectués :

1. Essais préliminaires destinés à la mise au point des méthodes d'étude :
 - Comportement en traction et en résilience, à la température ambiante et à basse température, de deux aciers (XC 55 et XC 70). Comparaison de structures perlitiques de différentes finesses et de structures globulisées.
 - Examen des surfaces de rupture obtenues dans les différents cas, ainsi que de la structure micrographique : microscopie électronique à balayage, répliques.

- Essais de perlito-formage : laminage ou simulation par torsion. On obtient directement des structures globulisées si le taux de déformation à chaud est suffisant; sinon, la globulisation est fortement accélérée au cours de recuits ultérieurs.
- 2. Mise au point de traitements thermiques permettant de réaliser des structures aussi variées que possible dans un acier de type XC 38 :
 - Traitements thermiques simples : influence de la vitesse de refroidissement
 - Recuits de globulisation avec ou sans passage de A_{c1} .Les structures obtenues sont observées au microscope optique et au moyen des techniques de microscopie électronique. Pour l'instant seules des mesures de dureté ont été faites.

b) Etude du comportement au revenu des différentes structures auxquelles peut conduire la transformation — .

Pendant le dernier trimestre 1972 on a sélectionné les deux aciers dont la trempabilité permettait l'utilisation d'essais Jominy. Il s'agit d'un acier 40 NCD 3 et d'un acier 42 C4. On a alors entrepris l'étude de la cinétique de la composition de l'austénite en refroidissement continu pour les deux aciers austénitisation dans les conditions habituelles.

T R A N S F O R M A T I O N
F O R M G E B U N G
T R A N S F O R M A T I O N

REF. H 4

CONVENTION No 6210-60/1/101

TITEL

Aptitude des aciers au formage à froid

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, für das Kaltfließpressen und das Drahtziehen einfache Prüfwerte zur Kennzeichnung der Kaltumformbarkeit zu finden.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Es wurden Vorversuche zur Ermittlung zweckmäßiger betriebsähnlicher Versuchsteile durchgeführt.

CONVENTION N° 6210-80/2/201

TITRE

Aptitude des aciers au formage à froid

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

L'objet de cette étude est la recherche d'un critère permettant d'apprécier l'aptitude d'un métal à être déformé à froid. Ce critère doit être déduit d'une étude complète de laboratoire portant sur des essais de traction et de torsion ainsi que des examens quantitatifs de la microstructure. Les résultats seront comparés à ceux obtenus au cours des essais de frappe à froid et d'étirage afin d'établir une corrélation entre ces deux groupes.

TRAVAUX EXECUTES

Frappe à froid

Pour se placer dans des conditions d'essais de laboratoire aussi proches que possible de celles de la frappe à froid, les essais de qualification choisis, à savoir la traction et la torsion ont été réalisés à des vitesses de déformation telles qu'elles soient analogues à celles de la frappe à froid.

Les essais portent actuellement sur différentes qualités de fil machine parmi lesquelles on distingue du fil pour frappe de bonne qualité, du fil pour frappe déclassé et enfin du fil sans spécifications de qualité.

L'identification des aciers a porté sur les points suivants :

- caractéristiques mécaniques,
- composition chimique,
- structure micrographique,
- teneurs en inclusions.

Lors de l'essai de traction, la mesure la plus influencée par la vitesse de mise en charge est la limite d'élasticité.

Etirage à froid

Dans une première phase de l'étude, nous avons pris en considération quatre bobines d'acier doux de composition voisine (0,06 % C, 0,03 % Mn). Ces aciers ont été élaborés et laminés industriellement. Après laminage, ils ont été refroidis à différentes vitesses de manière à obtenir d'importantes variations, tant dans les propriétés mécaniques que dans les microstructures.

Dans les quatre cas, nous avons procédé à des examens susceptibles de caractériser les états initiaux ainsi qu'à des essais de déformation à froid au banc d'étirage. Pour ces derniers essais, les fils de diamètre initial de 5,5 mm ont été étirés jusqu'à un taux de réduction de 99,3 % suivant une séquence de réduction de 20 % semblable à celle utilisée couramment en industrie.

Sur la base des résultats d'essais de traction sur fils déformés et des courbes d'écrouissage qui en découlent, il semble qu'une microstructure initiale favorable soit caractérisée par des colonnes de perlite assez petites et des grains ferritiques pas trop fins.

REF. H 4

CONVENTION No 6210-80/3/301

TITRE

Aptitude des aciers au formage à froid

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

La recherche a pour but d'étudier un critère de laboratoire permettant d'apprécier l'aptitude d'un métal à être déformé à froid. Pour ce point, les essais de laboratoire seront confrontés à des essais industriels ou semi-industriels (par exemple, étirage, filage, tréfilage). Les caractéristiques des pièces écrouies seront étudiées.

On étudiera également l'influence de traitements thermiques particuliers (globulisation) sur les paramètres de la courbe rationnelle de traction et sur l'aptitude à la déformation à froid.

TRAVAUX EXECUTES

La convention n'ayant été signée qu'en Novembre 1972, aucun résultat n'a été obtenu pendant l'année.

Nous avons mis au point une installation d'étirage sur machine de traction. Cette installation comprend :

- un porte-filière placé sur la traverse supérieure fixe d'une machine de traction mécanique,
- des mors permettant de prendre le fil, et donc de le faire passer à travers la filière. Ces mors sont placés sur la traverse mobile de la machine de traction.

L'instrumentation de la machine permet d'enregistrer les courbes "force d'étirage - temps" ou "force d'étirage-longueur du fil étiré".

UTILISATION
ANWENDUNG
UTILIZATION

CONVENTION N° 6210-29/3/003

TITRE

Tenue au feu des constructions métalliques

- Enquête statistique sur les charges d'incendie dans les immeubles à usage de bureaux;
- Essais sur éléments grandeur nature dans la grande installation et essais complémentaires dans la petite installation de Maizières-Les-Metz;
- Publication d'ouvrages

BENEFICIAIRE(S)

Deutscher Stahlbau-Verband - Köln

Institut de Recherches de la Sidérurgie Française - St.Germain-en-Laye

Centre Technique des Industries de la Construction Métallique - Paris

OBJECTIF

Rechercher les solutions susceptibles d'améliorer la durée de résistance à l'incendie de l'acier grâce à l'exploitation des réserves de résistance connues ou dont l'existence n'est que supposée (Influence du système constructif).

Etude des incendies naturels dans le but de déterminer des coefficients de corrélation entre "incendies naturels" et "incendies normalisés".

TRAVAUX EXECUTES

Travaux exécutés par le CTICM à Maizières-lès-Mets (année 1972)

Au cours de l'exercice écoulé les essais suivants de structures, faisant partie du programme d'essais arrêté à Vienne le 1er février 1972, ont été exécutés :

I. Essais de poutres hyperstatiques avec reprise des efforts horizontaux

- I₁ Poutre hyperstatique HEA 180 sans protection sous charge concentrée avec tirants rigides et charge ponctuelle
- I₂ Poutre hyperstatique HEB 140 sans protection avec tirants rigides et charge ponctuelle

- I₃ Poutre hyperstatique HEB 180 sans protection avec tirants élastiques et charge répartie
- I₄ Poutre hyperstatique HEB 180 sans protection avec tirants élastiques et charge ponctuelle.

Ces essais ont confirmé les premiers résultats obtenus sur ce type de structure. Lorsqu'on peut reprendre, par un système structural quelconque adjacent au compartiment incendié, les efforts horizontaux développés au cours de la déformation, on peut accroître notablement la résistance au feu.

II. Essais de portiques

- II₁ Portique simple HEA 200 sans protection de la traverse avec tirants horizontaux (2 essais)
- II₂ Portique double HEA 200 sans protection de la traverse et des poteaux
- II₃ Portique double à 2 travées et tirants horizontaux, charge ponctuelle, sans protection de la traverse.

Ces essais sont en cours de dépouillement, mais les premières constatations permettent de confirmer les températures critiques observées sur les ossatures hyperstatiques.

III. Essais de poteaux extérieurs

L'étude du réchauffement des poteaux extérieurs a été exécutée sous l'influence de l'effet thermique provoqué par des charges d'incendie de 60 kg/m² et 30 kg/m² placées dans les conditions optimales de ventilation (25 % de la surface frontale).

Les essais suivants ont été exécutés :

- III₁ Poteau extérieur placé à 15 cm de la façade muni d'un déflecteur constitué par une plaque de vermiculite de 20 mm.

Essai n° 1 : charge d'incendie de 30 kg/m², ventilation 25 %, dépassement du déflecteur : 60 mm de part et d'autre du poteau

Essai n° 2 : charge d'incendie de 60 kg/m², ventilation 25 %, dépassement du déflecteur : 120 mm de part et d'autre du poteau

Essai n° 3 : charge d'incendie de 30 kg/m², ventilation 25 %, dépassement du déflecteur : 120 mm de part et d'autre du poteau

- III₂ Poteau extérieur placé à 30 cm de la façade

Essai n° 1 : charge d'incendie de 30 kg/m², ventilation 25 %, déflecteur en tôle, dépassement du déflecteur : 120 mm de part et d'autre du poteau

Essai n° 2 : essai identique à l'essai n° 1, mais avec 60 kg/m² de charge d'incendie

Essai n° 3 : charge d'incendie de 30 kg/m², ventilation 25 %, déflecteur en plaque de vermiculite, dépassement de 60 mm de part et d'autre du poteau

Essai n° 4 : charge d'incendie de 60 kg/m², ventilation 25 %, déflecteur en plaque de vermiculite, dépassement de 60 mm de part et d'autre du poteau

III₃ Poteau extérieur placé à 45 cm de la façade

Essai n° 1 : charge d'incendie de 60 kg/m², ventilation 25 %, déflecteur en plaque de vermiculite dépassant de 60 mm de part et d'autre du poteau

Essai n° 2 : charge d'incendie de 60 kg/m², ventilation 25 %, déflecteur en plaque de vermiculite, dépassement nul

Essai n° 3 : charge d'incendie de 60 kg/m², ventilation 25 %, déflecteur en tôle, dépassement 60 mm.

Ces essais ont permis de mettre en évidence les variations des températures autour et dans le poteau pour les cas envisagés. Influence bénéfique d'un déflecteur placé sur la face exposée du poteau a été observée.

CONVENTION No 6210-68/1/101

TITEL

Promotion de l'acier dans l'industrialisation du bâtiment
- construction d'un prototype

BEGÜNSTIGTE(R)

Forschungsgesellschaft für Industrielle Bausysteme - Berlin

GEGENSTAND UND ZIEL

Die Anwendung von Stahl bei der Industrialisierung des Bauwesens:
Errichtung eines Gebäudes als Versuchsstation zur Untersuchung
der Kriterien des europäischen Wohnkomforts und der technischen
Hindernisse, die industriellen Bausystemen entgegenstehen, sowie
Beitrag zur Programmierung späterer Untersuchungen.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Im Jahre 1972 wurden im wesentlichen Vorbereitungsarbeiten durchgeführt. Der eigentliche Beginn der Arbeiten wurde dadurch verzögert, daß der Forschungsvertrag dem Forschungsträger erst im Oktober d.J. zugeht und die Einstellung von wesentlichem Personal für das Vorhaben dadurch betroffen wurde. Im einzelnen wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- a) Festlegung des Grundstücks zur Errichtung der Versuchsstation,
- aa) Optimierung einer größeren Anzahl vom Senator für Bau- und Wohnungswesen der Stadt Berlin vorgeschlagener oder vom Forschungsträger zur Diskussion gestellter Grundstücke:
 - Berlin-Kreuzberg, Bethanien
 - Tiergarten, Neuer See
 - Tiergarten, Pumpstation Lützow-Ufer
 - Schöneberg, Bunkerüberbauung Pallasstraße
 - Scharfe Lanke
 - Moltkebrücke
 - Hafen Tegel
 - Schleswiger Ufer
- bb) Vorplanung verschiedener Alternativen für eine evtl. spätere Ausweitung des Vorhabens (2. Stufe) und ihre Beurteilung im Hinblick auf die Programmierung späterer Untersuchungen (siehe Gegenstand des Forschungsvorhabens).

- cc) Untersuchung der bebauungsplanmäßigen Voraussetzungen auf den einzelnen vorgeschlagenen Grundstücken, teilweise vorbereitende Überlegungen für die Aufstellung neuer Bebauungspläne.
- dd) Die Arbeiten führten zu einer Vorentscheidung für das Grundstück im Bezirk Berlin-Tiergarten, Schleswiger Ufer. Dieses Grundstück, das an die Spree angrenzt, liegt am Rande des sogenannten Hansaviertels, das in früheren Jahren – wie bekannt – Gegenstand einer internationalen Bauausstellung war.
- b) Planerische Vorüberlegungen für aa) die mit dem Forschungsvorhaben geförderte Errichtung der Versuchsstation bb) evtl. Erweiterungen evtl. Angliederung anderer Forschungsvorhaben auf dem gleichen Gelände, als Vorbereitung zur Aufstellung eines Bebauungsplanes.

In die Arbeiten einbezogen werden mußten die auf dem gleichen Gelände von der Stadt Berlin geplanten öffentlichen Vorhaben eines Studentenwohnheims, einer studentischen Kindertagesstätte und eines Altenwohnheims, da von der Stadtplanung eine stadtplanerische Integration bei getrennter Baukörperbildung gefordert wurde.

- c) Analyse der vorbereitenden Entwurfslösungen für das Versuchsgebäude im Hinblick auf spätere Untersuchungen an dem Versuchsgebäude.
- d) Vorbereiten der Materialsammlung und Aufstellung einer Bibliografie als Voraussetzung der Programmierung späterer Untersuchungen.
- e) Voruntersuchungen im Bereich der Statik und Beurteilungen der Bodenverhältnisse.

CONVENTION N° 6210-68/4/401

TITRE

Promotion de l'acier dans l'industrialisation du bâtiment
- Etude d'ensemble sur "l'organisation des composants", notamment la construction d'une "trame expérimentale" destinée à éprouver les assemblages de composants.

BENEFICIARE(S)

Con la partecipazione delle Società
- C.F.M. Costruzioni Metalliche Finsider - Guasticce (Livorno)
- ITALSIDER - Genova - Dalmine - Milano
- Morteo-Soprefin - Genova
- SAIP - Roma
- SICIT - Milano
- studio di progettazione SIRONI - MARTINOIA - Milano

OBJECTIF

Studio di componenti edilizi in acciaio, approfondendoli sotto il triplice aspetto del loro coordinamento dimensionale, delle tecnologie di produzione e delle tecniche di montaggio.

Si potrà così pervenire a repertori di componenti (strutture portanti, solai, pareti esterne, pareti interne, impianti idro-sanitari, ecc.) impostati su base modulare e componibile ed aderenti a specifici requisiti e prestazioni.

TRAVAUX EXECUTES

I lavori eseguiti ed i risultati raggiunti, sia pure ancora da riesaminare e da mettere a punto secondo una razionale integrazione dei singoli temi sviluppati, sono stati raccolti nei seguenti documenti di lavoro :

- 1) "Studio di impostazione metodologica ed operativa per un approccio all'edilizia industrializzata mediante procedimenti costruttivi per componenti in acciaio" (parte prima sintesi e parte seconda elaborazione).
- 2) "Studio introduttivo ai componenti strutturali in acciaio per l'edilizia industrializzata".
- 3) "Studio introduttivo alle suddivisioni e attrezzature dello spazio interno".
- 4) "Studio sulle possibilità applicative degli impianti di condizionamento dell'aria nell'edilizia residenziale".
- 5) "Studio sulle attrezzature elettrodomestiche nei sistemi edilizi residenziali".

Parallelamente si è intervenuti presso un cantiere a Milano (ove è stato costruito un fabbricato multipiano per abitazioni) per quanto riguarda le tecniche di montaggio : si è avuta la conferma che il sollevamento a pacco dei pannelli di solaio rappresenta un possibile procedimento di messa in opera estremamente positivo e ulteriormente perfezionabile.

REF. J 3.3

CONVENTION No 6210-68/7/701

TITRE

Promotion de l'acier dans l'industrialisation du bâtiment

- entraves techniques et critères d'agrément des constructions industrialisées en acier

BENEFICIAIRE(S)

Office Technique pour l'utilisation de l'acier - Paris

agissant également pour compte de:

- Beratungsstelle für Stahlverwendung - Düsseldorf
- Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier - Bruxelles
- Ufficio Italiano Sviluppo Applicazioni Acciaio - Milano
- Stichting Staalcentrum Nederland - Amsterdam

OBJECTIF

néant

TRAVAUX EXECUTES

- Entraves techniques

- Mise au point du questionnaire en vue de l'enquête
- Il est basé sur les exigences humaines et non sur des critères de performances.

L'élément d'un sous-ensemble doit répondre à une exigence minimale demandée par l'homme.

La justification de cette exigence peut être scientifique, empirique ou expérimentale.

Les réponses au questionnaire se font ainsi:

- Choix d'une exigence - par exemple A-1 Stabilité du gros oeuvre - Tous les éléments de la construction qui répondent à cette exigence et qui sont systématisées en page 2 du questionnaire, font l'objet d'une fiche de réponse accompagnée ou non d'une fiche observations.

CONVENTION N° 6210-68/3/301

TITRE

Promotion de l'acier dans l'industrialisation du bâtiment
- l'étude et la construction d'un bâtiment à plusieurs niveaux
suivant un procédé tri-dimensionnel

BENEFICIAIRE(S)

TETRA - Luxembourg

OBJECTIF

Etude, dans le but de réalisation effective pour un client déterminé,
de l'application du procédé modulaire proposé au concours C.E.C.A.

TRAVAUX EXECUTES

Rapport N° 1

1.07.72 au 31.03.73

Conformément au programme de recherches énoncé à la Convention du
12 juillet 1972 :

Annexe I - paragraphe 2 - il a été procédé aux nombreuses études
dont les parcours sont résumés dans le dossier joint.

Il est admis que la structure des planchers est du système tridirectionnel. Les géométries sont, ainsi, passées en revue technologiquement assimilées au principe pyramitec dans 1 à 3 numérotés de pl à pl6, analyse du système unibat plans numérotés de 1 à 11, avec maquettes.

- Elaboration du système combinatoire de structure bi et tri directionnelle,
- Fabrication des éléments métalliques module 0,900 : 2 carrés, 5 tétraèdres,
- Etude de plancher en UNIBAT carré pour bureau et habitation
- Immeuble bureau, principe 22,80 partant des études et des analyses par ordinateur - établissement des diagrammes des efforts dans toutes les barres permettant le contrôle détaillé de la structure en vue d'optimisation pour application,

- Bureau principe 28,80
- Recherche de mise en oeuvre industrielle engagée avec les Etablissements COTECNO, concerne la préfabrication des noeuds en tôle emboutie,
- Dessin de pyramide et des détails
- Fabrication des pyramides-plancher avec assemblages emboutis
- Préparation des essais sur les assemblages
dessin - traction-compression nappe supérieure
traction-compression diagonale - ces essais seront exécutés
au mois d'avril
- Application à l'habitat, élaboration du projet d'une maison principe de 5 niveaux. Ce projet est proposé à la S.C.I.C. (Caisse des Dépôts et Consignations) pour la réalisation du prototype
- Toutes les études ayant pour objet la stabilité, sont étayées par les analyses et les notes de calculs.

CONVENTION No 6210-67/1/011

TITEL

Emploi et développement des supports en acier refroidis à l'eau pour la construction métallique

(Entwicklung und Anwendung wassergekühlter Stahlstützen im Hochbau)

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Betriebsforschungsinstitut - Düsseldorf

GEGENSTAND UND ZIEL

Gegenstand und Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Grundlagen für eine systemgerechte Anwendung des neuen Verfahrens zum vorbeugenden Brandschutz - Wasserfüllung von Hohlprofil-Stahlstützen - zu schaffen. Dabei sollen insbesondere die Wärmeübertragung zwischen Brandraum und Kühlflüssigkeit, die Strömung im Umlaufsystem, der Korrosionsschutz und die wirtschaftlich optimale Anwendung wassergefüllter Stahlstützen untersucht werden.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Im Jahre 1972 wurden die Untersuchungen zu den nachfolgend beschriebenen Teilprojekten des Forschungsvorhabens weitergeführt.

1. Freie Strömung und Wärmeübergang in mit Salzlösungen gefüllten Umlaufsystemen:

Nachdem im Jahre 1971 der Aufbau und die Inbetriebnahme des für die Messungen konzipierten Umlaufmodells abgeschlossen werden konnten, wurden im Berichtsjahr Wärmeübergangs- und Strömungsmessungen an Wasser und Kaliumkarbonat-Wasser-Gemischen (rd. 19 und 38 Gew.-% K_2CO_3) durchgeführt. Verändert wurden außerdem

1. der Durchmesser des beheizten Rohres (50, 70 und 150 mm), das dem Modell der beflamten Stütze entspricht,
2. die Ofentemperatur zwischen 100 und 1000°C,
3. die Wärmestromdichte an die Kühlflüssigkeit zwischen $2 \cdot 10^3$ und $1,2 \cdot 10^5 \text{ W/m}^2$.

Für die Wärmestromdichte wurde damit der praktisch bei einem Brand mögliche Bereich vollständig erfaßt. Die Untersuchungen schlossen auch den Fall des Blasensiedens und Ausdampfens der Flüssigkeit im

beheizten Rohr ein. Hierbei kann sich im Umlaufsystem eine pulsierende Strömung einstellen, die im wesentlichen auf eine Rückkoppelung zwischen der je Zeiteinheit ausgedampften Wassermenge und Störungen in der Zulaufgeschwindigkeit zum Heizrohr zurückgeführt werden kann, wobei die von der Reynolds-Zahl abhängige Reibungskraft im Umlaufsystem einen dämpfenden Einfluß ausübt. Die Meßergebnisse sind zum Teil bereits ausgewertet worden.

2. Korrosionsschutz:

Im Berichtszeitraum wurden Dauertauchversuche verschiedener Baustahlproben (St 37 und WT St 52) in vollentsalztem Wasser, Leitungswasser und K_2CO_3 -Wasser-Gemischen verschiedener Konzentration unter erschwerten Bedingungen mit Sauerstoffzufuhr durchgeführt. Abschließende Ergebnisse können noch nicht mitgeteilt werden, jedoch zeigt der bisherige Versuchsverlauf, daß bereits sehr geringe K_2CO_3 -Konzentrationen $< 1 \%$ zum Korrosionsschutz ausreichen. Hierfür können sich Anwendungsfälle bei offenen Umlaufsystemen ergeben, bei denen nicht ohnehin zum Frostschutz höhere K_2CO_3 -Konzentrationen erforderlich sind.

3. Wirtschaftlichkeits-Überlegungen:

Die Wirtschaftlichkeits-Untersuchungen wurden im Berichtsjahr zunächst abgeschlossen. Sie beziehen sich auf einen Kostenvergleich für Stützen in Stahl St 37 und 52 sowie zwischen wassergekühlten und konventionell feuergeschützten Stahlstützen und zeigen, daß wassergekühlte Stützen wegen des Festkostenanteils für das Stützenkühlsystem bei Gebäuden mit mehr als 6 Geschossen kostengünstiger sein können als ummantelte Stützen.

REF. J.5

CONVENTION No 6210-751/101

TITEL

Aciers à haute limite élastique pour cuves de fortes épaisseurs

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhütteleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

S.A. Marrel Frères - Chateauneuf

Société Creusot Loire - Le Creusot

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND UND ZIEL

- a) Optimierung der chemischen Zusammensetzung und der Wärmebehandlung eines hochfesten Stahles für dickwandigen Druckbehälter.
- b) Bedeutung des Verhältnisses von Streckgrenze zu Zugfestigkeit für die Spröbruchneigung hochfester Baustähle.

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Vereinbarungen zwischen den beteiligten Prüfstellen über das zweckmäßigste Verfahren bei der Herstellung und Formgebung der 15 Versuchsschmelzen zu Teil a) des Forschungsvorhabens. Verabredungen mit dem Hersteller der Schmelzen.

CONVENTION N° 6210-75/3/302

TITRE

Aciers à haute limite élastique pour cuves de fortes épaisseurs

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centre de Recherches Métallurgiques - Liège

S.A. Marrel Frères - Chateaufort

Société Creusot Loire - Le Creusot

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Les travaux ont pour objet l'étude de la résistance à la fragilisation par l'hydrogène des aciers utilisés principalement pour la fabrication de récipients sous pression (chimie pétrochimie) contenant de l'hydrogène, des mélanges à base d'hydrogène ou des produits susceptibles d'en produire.

Les essais seront conduits de façon à mettre en évidence l'influence défavorable d'un environnement d'hydrogène sur la résistance à la propagation des fissures et devront faciliter le choix de la nuance d'acier la mieux adaptée au problème posé par ce type de fabrication.

TRAVAUX EXECUTES

De fréquents contacts ont été pris avec des techniciens spécialisés du Commissariat à l'Energie Atomique afin de dresser en commun les plans d'un appareil permettant les essais de mécanique de la rupture en présence d'hydrogène que nous avons prévu d'effectuer.

L'appareillage est destiné à mesurer le facteur d'intensité de contrainte minimal au dessous duquel il n'y a aucun risque de fissuration lente sous l'action d'une pression d'hydrogène (K_{ICH}).

Les essais porteront sur une éprouvette du type WOL dont la fonction est d'imposer une ouverture constante à une fissure grâce à un système approprié.

La charge est alors telle que ce facteur d'intensité de contrainte initial K_{I1} est compris entre K_{IC} et K_{ICH} .

Sous l'effet agressif du milieu constitué ici par l'atmosphère d'hydrogène sous pression, il y a propagation lente de la fissure.

L'écartement des lèvres de l'entaille étant maintenu constant, la charge imposée diminue provoquant ainsi une diminution de la valeur du facteur d'intensité de contrainte K_I jusqu'à la valeur K_{ICH} pour laquelle on aura alors arrêt de la croissance de la fissure.

La mesure de la longueur de la fissure finale et de la charge correspondante permettra de déterminer la valeur de K_I par la formule suivante :

$$K_I = \frac{P}{B \sqrt{W}} \left[39,70 \left(\frac{a}{W} \right)^{1/2} - 294,2 \left(\frac{a}{W} \right)^{3/2} + 1118 \left(\frac{a}{W} \right)^{5/2} - 1842 \left(\frac{a}{W} \right)^{7/2} + 1159 \left(\frac{a}{W} \right)^{9/2} \right]$$

avec a longueur de la fissure

W l'épaisseur de l'éprouvette

P la charge imposée sur le bras de l'éprouvette

Nous avons donc dressé des plans d'un type d'appareil permettant de réaliser ces mesures.

L'appareil se compose donc principalement d'un autoclave en acier allié (Ni \approx 26 % Chrome \approx 15 %) permettant après traitement de durcissement d'obtenir des caractéristiques mécaniques élevées.

(E > 80 kg/mm² R > 100 kg/mm² A % > 25 % ϵ % \approx 40 %
(5d)

A cet autoclave sont associés :

- un dispositif de mise en tension mécanique de l'éprouvette composé d'un système Roue vis sans fin;
- un dispositif de capteur permettant d'une part la mesure du déplacement du point d'application de la force appliquée sur l'éprouvette, d'autre part l'intensité de cette force;
- un dispositif de doigt de gant permettant la mesure de la température à l'intérieur de l'autoclave.

Il est à signaler que la mise en tension de l'éprouvette risquant d'être perturbée par la pression du gaz dans l'autoclave, un deuxième autoclave a été installé en parallèle avec celui contenant l'éprouvette de façon à annihiler l'effet de cette pression sur le système de mise en traction.

Actuellement les pièces composant l'appareil sont en fin d'usinage et il est probable que le montage pourra avoir lieu très prochainement.

D I V E R S
V E R S C H I E D E N E S
M I S C E L L A N E O U S

REF. K 1.2

CONVENTION No 6210-09/6/005

TITRE

Recherches fondamentales et appliquées sur la constitution et le rayonnement des flammes

- extension des résultats obtenus lors des recherches précédentes
- étude des flammes de gaz naturel
- étude des phénomènes chimiques

BENEFICIAIRE(S)

Fondation de Recherches Internationales sur les Flammes - IJmuiden

OBJECTIF

The research carried out in 1972 consisted of further work on established research lines and ventures into new fields. Studies into the control of the emission of oxides of nitrogen from gas and pulverised coal flames by burner design received considerable attention. The problems associated with the design of atomisers for oil injection into blast furnace tuyeres was investigated and positive recommendations made. The characteristics of a "rapid heating" burner was explored to provide information by which a convective reheating furnace for steel billets could be designed.

Longer term research lines on aerodynamics, mathematical modelling and instrumentation were continued.

TRAVAUX EXECUTES

In 1972 the Research Station conducted four furnace trials, AP-1, BF-1, BF-2 and NG-4A, lasting in total for eighteen weeks.

The AP-1 trial was the first major trial to be carried out for the E.P.A. of the United States Government. The object of the trial was to provide generalised burner design principles for the minimisation of oxides of nitrogen emission from natural gas and pulverised coal flames. To achieve the aim of the trial, the effect on oxides of nitrogen emission, of injector type, injector position, quarl angle, quarl type, combustion air velocity, degree of swirl and percentage primary air were investigated. The design principles have been established for natural gas and the design criteria identified for pulverised coal.

The BF-1 and BF-2 trials were members private contract trials, carried out for the Hoogovens and the British Steel Companies. The object of both

trials was to optimise the method of oil injection into blast furnaces. However, the BF-1 trial considered the use of mechanical and twinfluid atomisers, while the BF-2 trial explored the use of emulsions produced by homogenisers and steam/oil mixers. Mechanical and twinfluid atomisers being used in operating blast furnaces in various parts of the world were investigated. The principles dictating their operation were identified and generalised design principles established. The use of homogenisers to produce "explosive" atomisation was investigated and the atomisation characteristics of oil/water emulsions identified. The performance of steam/oil mixers have been shown to be similar to homogenisers, providing input enthalpy is used as the characterising parameter.

The NG-4A trial was conducted to provide information on the convective heat transfer characteristics of "rapid heating" burner. The data are in the process of evaluation. Physical modelling interpretations are planned using a hot jet a naphtalene sublimation technique.

The long term mathematical modelling activity commenced in 1971 has progressed satisfactorily. Predictions of the M-2 and D-2 heat fluxes have been made using a Spalding and well stirred plug flow model.

The aerodynamics activity was somewhat limited in 1972 due to the heavy trial load. However, useful work was possible on:

- flow and mixing in confined double concentric jets with density difference;
- physical modelling of flow and mixing in the first four burner diameters;
- isothermal modelling of the flow and mixing conditions which are generated in a rotary sponge iron kiln, between bed, basic and combustion air flow.

Further details on the above-mentioned topics can be found in the Research Station's activity report for 1972, Doc. nr. F01/a/84 or in specific documents concerning the investigation.

CONVENTION N° 6210-08/5/002

TITRE

Exploitation de la littérature technique sidérurgique des pays de l'Est et d'Extrême Orient (ASELT III)

BENEFICIAIRE(S)

Association Européenne pour l'Echange de la Littérature Technique dans le domaine de la Sidérurgie - Luxembourg

OBJECTIF

Les Instituts-membres de l'ASELT recherchent des études d'intérêt général dans les articles et ouvrages intéressant l'industrie sidérurgique, principalement dans les pays de l'Est et de l'Extrême Orient. Avec les fonds mis à la disposition par la CECA, l'ASELT contribue à la traduction de ses articles dans les langues des pays de la Communauté Européenne et l'anglais, en vue d'une diffusion aussi large que possible dans ces pays. En outre, ces fonds permettent la cession de ces traductions à un prix très bas.

TRAVAUX EXECUTES

En 1972 l'ASELT a publié au total 1.055 traductions, dont 841 effectuées par ses instituts-membres : Gesellschaft zur Förderung der Eisenhüttentechnik : 364, Centre de Documentation Sidérurgique : 375, Associazione Italiana di Metallurgia : 95, Centre de Recherches Métallurgiques : 7. 214 traduction fournies par la collaboration de l'ASELT avec le British Iron & Steel Institute (133 trad. et Henry Brutcher (81 trad.) - Les articles des instituts-membres ont été traduits du russe : 434 articles, du tchèque : 222, du japonais : 124, du polonais : 37, du suédois : 11, du roumain : 6, du hongrois : 5, du bulgare : 2. En 1972 l'ASELT a publié un ouvrage traduit du russe par le C.D.S./IRSID "Amélioration de la qualité des lingots d'acier", par D.A. Dudko, R.G. Krutikov.

La diffusion des traductions effectuées s'est faite au moyen de fiches bibliographiques envoyées à 77 abonnés et par les listes mensuelles gratuites à environ 800 adresses. Par les deux moyens de diffusion l'ASELT touche un grand nombre de sociétés sidérurgiques, d'universités et d'écoles techniques dans les pays de la Communauté européenne.

En 1972 les fiches ASELT ont été pourvues d'un numéro de classement qui permet aux abonnés de les classer par 25 sujets différents.

En 1972 les instituts-membres ont cédé 6.102 traductions :

Gesellschaft zur Förderung der Eisenhüttentechnik, Düsseldorf :	1.036
Centre de Documentation Sidérurgique, Paris :	4.840
Associazione Italiana di Metallurgia, Milano :	215
Centre de Recherches Métallurgiques, Liège :	11

En 1972 la collaboration ASELT-ISI et ASELT-H. Brutcher a continué comme les années précédentes et de nouveaux contacts ont été établis avec Mr. Gros, de "Scientific Information Consultants, London".

REF. K 4

CONVENTION No 6210-74

TITEL

Gestion des entreprises sidérurgiques à l'aide de calculateurs
'électroniques

BEGÜNSTIGTE(R)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf

Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

GEGENSTAND

1. Systemanalytische Untersuchungen des Informationsflusses im technischen Bereich eines gemischten Eisenhüttenwerkes
2. Untersuchung bereits entwickelter Datenbank-Verwaltungssysteme
3. Voruntersuchung zur Entwicklung einer Datenbeschreibungssprache

ZIEL

Entwicklung eines Datenbankkonzeptes für alle wesentlichen Informationsverarbeitungsarbeiten im technischen Bereich gemischter Hüttenwerke

DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Der heutige Einsatz von Datenverarbeitungsanlagen ist stark geprägt von den organisatorischen Gegebenheiten der Werke. Darum bestand die Notwendigkeit, zunächst eine Definitionsphase durchzuführen, um Art und Struktur des betrieblichen Informationsflusses zuerst in einer Globalanalyse und anschließend in einer Detailanalyse zu erfassen. Im einzelnen wurden im abgelaufenen Berichtszeitraum folgende Arbeiten durchgeführt bzw. begonnen:

1. Systematik zur Durchführung neuer und Auswertung bereits vorhandener Systemanalysen des Informationsflusses im technischen Bereich eines gemischten Hüttenwerkes.
2. Globalanalyse der Zusammenhänge zwischen Produkten, Produktionsbereichen, Informationen und Informationsverarbeitungsaufgaben zum Erkennen der grundsätzlichen Erfordernisse für eine einheitliche Informationsstruktur.
3. Prüfung vorhandener Dateiverwaltungssysteme.
4. Vorstudien zur Entwicklung einer allgemeinen Datenbeschreibungssprache.

Als Ergebnis der bisherigen Arbeiten hat sich gezeigt, daß das Forschungsvorhaben "Planungs- und Lenkungssystem" zwei Arbeitsschwerpunkte besitzt. Einmal werden die Ergebnisse der Systemanalysen und der Prüfung von vorhandenen Dateiverwaltungssystemen zeigen, inwieweit die heute angebotene Systemsoftware für Dateiverwaltungen genügt, oder in späteren Arbeitsstufen weiterentwickelt und angepaßt werden muß. Dabei zeichnen sich ab, daß nicht ein einheitliches Datenbanksystem den Anforderungen der Informationsaufbereitung im technischen Bereich des Hüttenwerkes gerecht werden kann, sondern nur ein Verbund mehrerer Datenbanksysteme zu optimalen Lösungen führen könnte.

Der zweite Arbeitsschwerpunkt besteht in der Entwicklung von Methoden, den betrieblichen Informationsfluß in einer Datenbank so abzubilden, vermöge dessen ein noch zu definierender Kreis von Informationsverarbeitungsaufgaben optimal bedient werden kann.

REF. K 4

CONVENTION N° 6210-74

TITRE

Gestion des entreprises sidérurgie à l'aide de calculateurs électroniques

BENEFICIAIRE(S)

Verein Deutscher Eisenhüttenleute - Düsseldorf
Centro Sperimentale Metallurgico - Roma

OBJECTIF

Progettazione del colloquio generalizzato on-line real-time con il calcolatore, per accedere direttamente alla base informativa comune in esso definita. Definizione e messa a punto dei criteri di gestione della base informativa, e costruzione di un opportuno interfaccia, per consentire lo sviluppo generalizzato del colloquio, fino ad includere le rilevazioni strumentali.

TRAVAUX EXECUTES

- Input generale

E' un progetto tecnico che ha lo scopo di governare, con una impostazione logica generalizzata, l'informazione in ingresso nel sistema, dal punto di vista del controllo del livello di errore ammissibile.

Esso si incarica di ricevere il messaggio proveniente dal terminale periferico, di controllarlo e di consegnarlo alla base informativa, predisponendo segnali di attivazione dei sottosistemi interessati in modo che si possa procedere al riconoscimento degli eventi.

Un progetto generalizzato di tale tipo rappresenta un importante strumento di flessibilità per il sistema informativo, sia dal punto di vista di una realizzazione modulare, sia dal punto di inevitabile adattamento all'evoluzione dell'ambiente. Verifica operativa con la messa in esercizio dei progetti organizzativi previsti dal primo piano di sviluppo del sistema informativo di stabilimento.

- Colloquio tra calcolatore centrale e un sistema automatico per la rilevazione dei dati

I piani di sviluppo del sistema informativo di gestione del Centro Siderurgico Oscar Sinigaglia hanno richiesto approfondite ricerche sui calcolatori in tempo reale e sulle tecniche per il loro impiego. La complessità di tali tecniche ha richiesto che il problema fosse affrontato per fasi.

Nel primo progetto pilota in tempo reale, installato nel 1967, la comunicazione dei dati al calcolatore avviene mediante l'impostazione manuale dei dati sui terminali remoti. Per un ulteriore miglioramento,

Per un ulteriore miglioramento, si è riconosciuta la necessità di potenziare l'efficienza e la generalità del colloquio tra periferia e calcolatore, mediante la rilevazione diretta dei dati degli strumenti installati sull'impianto.

Questo ha richiesto la progettazione di una ulteriore fase di ricerche, in vista sia della generalizzazione organizzativa del colloquio con il calcolatore, sia dello studio e della progettazione dei mezzi fisici in grado di costituire un'adeguato supporto tecnico a tale colloquio. Lo scopo fondamentale della ricerca è pertanto quello di estendere le tecniche in tempo reale a tutta la gestione dello Stabilimento.

Verifica operativa con l'entrata in esercizio del progetto che controlla in tempo reale la qualità dei rotoli di banda stagnata elettrolitica sulle due linee di produzione dello Stabilimento per contenere gli inconvenienti derivanti da una situazione anomala.

Bureaux de vente

Les documents publiés par la Commission des Communautés européennes sont vendus par l'Office des publications officielles aux adresses ci-après et au prix indiqué en dernière page de couverture. Lors de la commande bien indiquer la référence exacte et le titre du document.

Belgique - België

Moniteur belge — Belgisch Staatsblad

Rue de Louvain 40-42 —
Leuvenseweg 40-42
1000 Bruxelles — 1000 Brussel

Tél. 512 00 26
CCP 000-2005502-27
Postrekening 000-2005502-27

Sous-dépôt — Agentschap :

Librairie européenne —
Europese Boekhandel
Rue de la Loi 244 — Wetstraat 244
1049 Bruxelles — 1049 Brussel

Danmark

J.H. Schultz — Boghandel

Montergade 19
1116 København K
Tel. 14 11 95

Deutschland (BR)

Verlag Bundesanzeiger

5 Köln 1 - Breite Straße —
Postfach 108 006
Tel. (0221) 21 03 48
(Fernschreiber : Anzeiger Bonn
08 882 595)
Postscheckkonto 834 00 Köln

France

*Service de vente en France des
publications des Communautés
européennes*

Journal officiel

26, rue Desaix
75 732 Paris - Cedex 15
Tél (1) 578 61 39 —
CCP Paris 23-96

Ireland

Stationery Office — The Controller

Beggar's Bush
Dublin 4
Tel. 76 54 01

Italia

Libreria dello Stato

Piazza G. Verdi 10
00198 Roma — Tel. (6) 85 08
CCP 1/2640

Agenzie :

00187 Roma - Via del Tritone
61/A e 61/B
00187 Roma - Via XX Settembre
(Palazzo Ministero
delle finanze)
20121 Milano - Galleria
Vittorio Emanuele 3
80121 Napoli - Via Chiaia 5
50129 Firenze - Via Cavour 46/R
16121 Genova - Via XII Ottobre 172
40125 Bologna - Strada Maggiore 23/A

Grand-Duché de Luxembourg

*Office des publications officielles
des Communautés européennes*

Boîte postale 1003 — Luxembourg

Tél. 49 00 81 — CCP 191-90

Compte courant bancaire :
BIL 8-109/6003/300

Nederland

Staatsdrukkerij- en uitgeverijbedrijf

Christoffel Plantijnstraat, s'-Gravenhage

Tel. (070) 81 45 11
Postgiro 42 53 00

United Kingdom

H.M. Stationery Office

P.O. Box 569
London S.E. 1
Tel. 01-928 6977, ext. 365

United States of America

*European Community Information
Service*

2100 M Street, N. W.
Suite 707
Washington, D.C. 20 037
Tel. 296 51 31

Schweiz - Suisse - Svizzera

Librairie Payot

6, rue Grenus
1211 Genève
CCP 12-236 Genève
Tél. 31 89 50

Sverige

Librairie C.E. Fritze

2, Fredsgatan
Stockholm 16
Post Giro 193, Bank Giro 73/4015

España

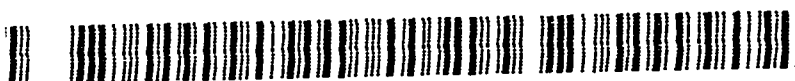
Librería Mundi-Prensa

Castelló 37
Madrid 1
Tel. 275 46 55

Autres pays

*Office des publications
officielles des Communautés
européennes*

Boîte postale 1003 — Luxembourg
Tél. 49 00 81 — CCP 191-90
Compte courant bancaire :
BIL 8-109/6003/300



Tous les rapports scientifiques et techniques publiés par la Commission des Communautés européennes sont signalés dans le périodique mensuel «euro-abstracts». Pour souscrire un abonnement (1 an : FB 1 025,—) ou recevoir un numéro spécimen, prière d'écrire à l'adresse indiquée ci-dessous.